

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2016/184756 A1

(43) Date de la publication internationale
24 novembre 2016 (24.11.2016)

WIPO | PCT

- (51) Classification internationale des brevets :
B60C 9/20 (2006.01) *B60C 9/18* (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2016/060596
- (22) Date de dépôt international :
11 mai 2016 (11.05.2016)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1554392 18 mai 2015 (18.05.2015) FR
- (71) Déposants : COMPAGNIE GENERALE DES ETABLISSEMENTS MICHELIN [FR/FR]; 12, Cours Sablon, 63000 Clermont-Ferrand (FR). MICHELIN RECHERCHE ET TECHNIQUE S.A. [CH/CH]; Route Louis Braille 10, 1763 Granges-Paccot (CH).
- (72) Inventeurs : NAVARRO-LOSADA, Claudia; Manufacture Française des Pneumatiques Michelin, DGD/PI - F35 - Ladoux, 63040 Clermont-Ferrand Cedex 9 (FR). PARMENTIER, Jean-François; Manufacture Française des Pneumatiques Michelin, DGD/PI - F35 - Ladoux, 63040 Clermont-Ferrand Cedex 9 (FR). MARTIN, Vincent; Manufacture Française des Pneumatiques Michelin, DGD/PI - F35 - Ladoux, 63040 Clermont-Ferrand Cedex 9 (FR). LARDJANE, Aurore; Manufacture Française des Pneumatiques Michelin, DGD/PI - F35 - Ladoux, 63040 Clermont-Ferrand Cedex 9 (FR).
- (74) Mandataire : LE CAM, Stéphane; Manufacture Française des Pneumatiques Michelin, 23, place des Carmes-Déchaux, DGD/PI - F35 - Ladoux, 63040 Clermont-Ferrand Cedex 9 (FR).
- (81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : TYRE COMPRISING WORKING LAYERS FORMED BY INDIVIDUAL WIRES

(54) Titre : PNEUMATIQUE COMPORTANT DES COUCHES DE TRAVAIL CONSTITUEES DE FILS UNITAIRES

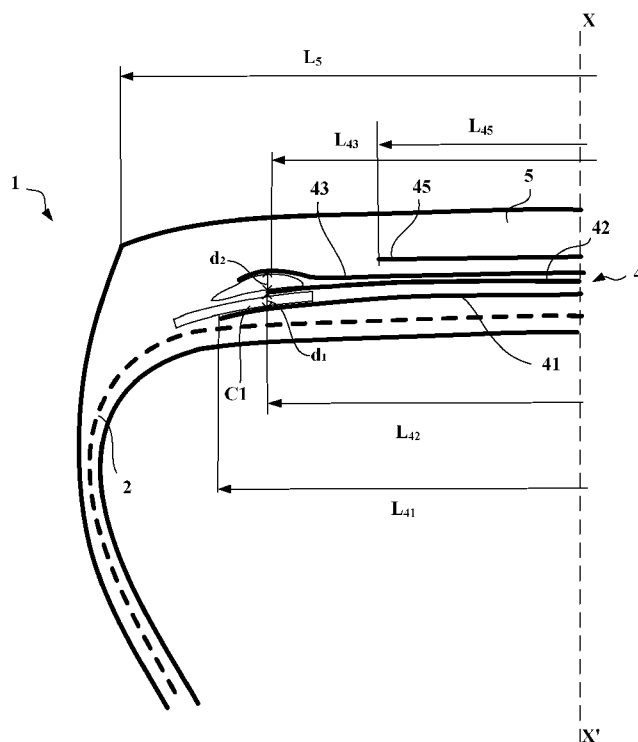


FIG.1

(57) Abstract : The invention relates to a tyre comprising a crown ply formed by at least three working crown layers, at least two rubber blend layers C_i being disposed between the ends of the layers. According to the invention, in a meridian plane, the thickness of the working crown layers, measured in the equatorial plane, is less than 5 mm; the reinforcing elements of these layers are individual metal wires having a diameter of less than 0.50 mm; the distance between the reinforcing elements is strictly less than 1 mm; the axial width of each of the working crown layers is greater than 60% of the axial width of the tread; at least a distance d_i between two working layers separated by a rubber blend layer C_i , measured at the end of the axially narrowest working layer on contact, is such that $0.5 < d_i < 2.5$ mm; and the thickness of at least one rubber blend layer C_i is substantially constant across the axial width between the axially inner end of a rubber blend layer C_i and the end of the axially narrowest working layer on contact.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2016/184756 A1



DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

Pneumatique comprenant une armature de sommet formée d'au moins trois couches de sommet de travail, au moins deux couches de mélange caoutchouteux Ci étant disposées entre les extrémités desdites couches. Dans un plan méridien, l'épaisseur des couches de sommet de travail mesurée dans le plan équatorial est < 5 mm, les éléments de renforcements de ces couches étant des fils métalliques unitaires de diamètre < 0.50 mm, la distance entre les éléments de renforcement étant strictement < 1 mm, la largeur axiale de chacune des couches de sommet de travail étant > 60 % de la largeur axiale de la bande de roulement, au moins une distance d_i entre deux couches de travail séparées par une couche de mélange caoutchouteux Ci et mesurée à l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite à son contact est telle que $0.5 < d_i < 2.5$ mm, et l'épaisseur d'au moins une couche de mélange caoutchouteux Ci est sensiblement constante sur la largeur axiale comprise entre l'extrémité axialement intérieure d'une couche de mélange caoutchouteux Ci et l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite à son contact.

PNEUMATIQUE COMPORTANT DES COUCHES DE TRAVAIL CONSTITUEES
DE FILS UNITAIRES

[0001] La présente invention concerne un pneumatique, à armature de carcasse radiale et plus particulièrement un pneumatique destiné à équiper des véhicules portant de lourdes charges, tels que, par exemple les camions, tracteurs, remorques ou bus routiers.

[0002] D'une manière générale dans les pneumatiques de type poids-lourds, l'armature de carcasse est ancrée de part et d'autre dans la zone du bourrelet et est surmontée radialement par une armature de sommet constituée d'au moins deux couches, superposées et formées de fils ou câbles parallèles dans chaque couche et croisés d'une couche à la suivante en faisant avec la direction circonférentielle des angles compris entre 10° et 45° . Lesdites couches de travail, formant l'armature de travail, peuvent encore être recouvertes d'au moins une couche dite de protection et formée d'éléments de renforcement avantageusement métalliques et extensibles, dits élastiques. Elle peut également comprendre une couche de fils ou câbles métalliques à faible extensibilité faisant avec la direction circonférentielle un angle compris entre 45° et 90° , cette nappe, dite de triangulation, étant radialement située entre l'armature de carcasse et la première nappe de sommet dite de travail, formées de fils ou câbles parallèles présentant des angles au plus égaux à 45° en valeur absolue. La nappe de triangulation forme avec au moins ladite nappe de travail une armature triangulée, qui présente, sous les différentes contraintes qu'elle subit, peu de déformations, la nappe de triangulation ayant pour rôle essentiel de reprendre les efforts de compression transversale dont est l'objet l'ensemble des éléments de renforcement dans la zone du sommet du pneumatique.

[0003] Des câbles sont dits inextensibles lorsque lesdits câbles présentent sous une force de traction égale à 10% de la force de rupture un allongement relatif au plus égal à 0,2%.

[0004] Des câbles sont dits élastiques lorsque lesdits câbles présentent sous une force de traction égale à la charge de rupture un allongement relatif au moins égal à 3% avec un module tangent maximum inférieur à 150 GPa.

- 2 -

[0005] Des éléments de renforcement circonférentiels sont des éléments de renforcement qui font avec la direction circonférentielle des angles compris dans l'intervalle $+ 2,5^\circ$, $- 2,5^\circ$ autour de 0° .

5 [0006] La direction circonférentielle du pneumatique, ou direction longitudinale, est la direction correspondant à la périphérie du pneumatique et définie par la direction de roulement du pneumatique.

[0007] La direction transversale ou axiale du pneumatique est parallèle à l'axe de rotation du pneumatique.

10 [0008] La direction radiale est une direction coupant l'axe de rotation du pneumatique et perpendiculaire à celui-ci.

[0009] L'axe de rotation du pneumatique est l'axe autour duquel il tourne en utilisation normale.

[0010] Un plan radial ou méridien est un plan qui contient l'axe de rotation du pneumatique.

15 [0011] Le plan médian circonférentiel, ou plan équatorial, est un plan perpendiculaire à l'axe de rotation du pneu et qui divise le pneumatique en deux moitiés.

[0012] En ce qui concerne les fils ou câbles métalliques, les mesures de force à la rupture (charge maximale en N), de résistance à la rupture (en MPa) et d'allongement à la rupture (allongement total en %) sont effectuées en traction selon la norme ISO 6892 de 1984.

20 [0013] En ce qui concerne les compositions de caoutchouc, les mesures de module sont effectuées en traction selon la norme AFNOR-NFT-46002 de septembre 1988 : on mesure en seconde élongation (i.e., après un cycle d'accommodation) le module sécant nominal (ou contrainte apparente, en MPa) à 10% d'allongement (conditions normales de température et d'hygrométrie selon la norme AFNOR-NFT-40101 de décembre 1979).

25 [0014] Certains pneumatiques actuels, dits "routiers", sont destinés à rouler à des vitesses moyennes élevées et sur des trajets de plus en plus longs, du fait de l'amélioration du réseau routier et de la croissance du réseau autoroutier dans le monde. L'ensemble des conditions,

- 3 -

sous lesquelles un tel pneumatique est appelé à rouler, permet sans aucun doute un accroissement du nombre de kilomètres parcourus, l'usure du pneumatique étant moindre. Cette augmentation de la durée de vie en termes kilométriques, conjuguée au fait que de telles conditions d'usage sont susceptibles de se traduire, sous forte charge, par des températures sommet relativement élevées, nécessite une augmentation au moins proportionnelle du potentiel d'endurance de l'armature sommet des pneumatiques.

[0015] Il existe en effet des contraintes au niveau de l'armature de sommet et plus particulièrement des contraintes de cisaillement entre les couches de sommet qui, dans le cas d'une trop forte élévation de la température de fonctionnement au niveau des extrémités de la couche de sommet axialement la plus courte, ont pour conséquence l'apparition et la propagation de fissures dans la gomme au niveau desdites extrémités. Le même problème existe dans le cas de bords de deux couches d'éléments de renforcement, ladite autre couche n'étant pas obligatoirement radialement adjacente à la première.

[0016] Dans le but d'améliorer l'endurance de l'armature sommet des pneumatiques, la demande française FR 2 728 510 propose de disposer, d'une part entre l'armature de carcasse et la nappe de travail d'armature de sommet, radialement la plus proche de l'axe de rotation, une nappe axialement continue, formée de câbles métalliques inextensibles faisant avec la direction circonférentielle un angle au moins égal à 60° , et dont la largeur axiale est au moins égale à la largeur axiale de la nappe de sommet de travail la plus courte, et d'autre part entre les deux nappes de sommet de travail une nappe additionnelle formée d'éléments métalliques, orientés sensiblement parallèlement à la direction circonférentielle.

[0017] En complément, la demande française WO 99/24269 propose notamment, de part et d'autre du plan équatorial et dans le prolongement axial immédiat de la nappe additionnelle d'éléments de renforcement sensiblement parallèles à la direction circonférentielle, de coupler, sur une certaine distance axiale, les deux nappes de sommet de travail formées d'éléments de renforcement croisés d'une nappe à la suivante pour ensuite les découpler par des profilés de mélange de caoutchouc au moins sur le restant de la largeur commune aux dites deux nappes de travail.

[0018] La couche d'éléments de renforcement circonférentiels est usuellement constituée par au moins un câble métallique enroulé pour former une spire dont l'angle de pose par

- 4 -

rapport à la direction circonférentielle est inférieur à 8°. Les câbles initialement fabriqués sont enduits d'un mélange caoutchouteux avant d'être mis en place. Ce mélange caoutchouteux vient ensuite pénétrer le câble sous l'effet de la pression et de la température lors de la cuisson du pneumatique.

5 [0019] Les résultats ainsi obtenus en termes d'endurance et d'usure lors de roulages prolongés sur routes à grande vitesse sont le plus souvent satisfaisants. Toutefois, il apparaît que dans certaines conditions de roulage, certains pneumatiques présentent parfois une usure plus prononcée sur une partie de leur bande de roulement. Ce phénomène s'accroît lorsque la largeur de la bande de roulement augmente.

10 [0020] En outre, quelles que soient les solutions envisagées telles que présentées précédemment, la présence d'une couche d'éléments de renforcement supplémentaire conduit à une masse plus importante du pneumatique et à des coûts de fabrication des pneumatiques plus importants.

[0021] Le document WO 10/069676 propose une couche d'éléments de renforcement
15 circonférentiels répartis selon un pas variable. Selon les pas choisis, plus espacés dans les parties centrale et intermédiaires de la couche d'éléments de renforcement circonférentiels, il est possible de réaliser des pneumatiques dont les performances en termes d'endurance sont satisfaisantes avec des performances en termes d'usure améliorées. En outre, par rapport à un pneumatique comportant une couche d'éléments de renforcement
20 circonférentiels répartis selon un pas constant, il est possible de diminuer la masse et le coût de tels pneumatiques bien qu'il soit nécessaire de combler l'absence d'éléments de renforcement par des masses polymériques.

[0022] Un but de l'invention est de fournir des pneumatiques pour véhicules "Poids-
25 Lourds", dont les performances d'endurance et d'usure sont conservées, voire améliorées, pour des usages routiers quelles que soient les conditions d'usage et dont la masse et le coût de fabrication sont réduits par rapport à celle des pneumatiques tels que décrits précédemment.

[0023] Ce but est atteint selon l'invention par un pneumatique à armature de carcasse radiale pour véhicule de type poids lourd comprenant une armature de sommet comportant

- 5 -

au moins trois couches de sommet de travail d'éléments de renforcement, croisés d'une couche à l'autre en faisant avec la direction circonférentielle des angles compris entre 10° et 45° , elle-même coiffée radialement d'une bande de roulement, ladite bande de roulement étant réunie à deux bourrelets par l'intermédiaire de deux flancs, au moins deux couches de mélange caoutchouteux C_i étant disposées entre les extrémités desdites au moins trois couches de sommet de travail, dans un plan méridien, l'épaisseur desdites au moins trois couches de sommet de travail mesurée dans le plan équatorial étant inférieure à 5 mm, les éléments de renforcements desdites au moins trois couches de sommet de travail étant des fils métalliques unitaires de diamètre inférieur à 0.50 mm, la distance entre les éléments de renforcement, mesurée selon la normale à la direction de la ligne moyenne du fil, étant strictement inférieure à 1 mm, la largeur axiale de chacune desdites au moins trois couches de sommet de travail étant supérieure à 60 % de la largeur axiale de la bande de roulement, au moins une distance d_i entre deux couches de travail séparées par une couche de mélange caoutchouteux C_i et mesurée à l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite à son contact étant telle que $0.5 < d_i < 2.5$ mm, et, dans un plan méridien, l'épaisseur d'au moins une couche de mélange caoutchouteux C_i étant sensiblement constante sur la largeur axiale comprise entre l'extrémité axialement intérieure de ladite au moins une couche de mélange caoutchouteux C_i et l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite à son contact.

[0024] De préférence, selon l'invention, dans un plan méridien, l'épaisseur desdites au moins trois couches de sommet de travail mesurée dans le plan équatorial est inférieure à 3.5 mm.

[0025] De préférence également selon l'invention, la distance entre les éléments de renforcement, mesurée selon la normale à la direction de la ligne moyenne du fil, est inférieure à 0.5 mm.

[0026] De préférence encore selon l'invention, la largeur axiale de chacune desdites au moins trois couches de sommet de travail est supérieure à 80 et de préférence inférieure à 95 % de la largeur axiale de la bande de roulement.

[0027] Les largeurs axiales des couches d'éléments de renforcement sont mesurées sur une coupe transversale d'un pneumatique, le pneumatique étant donc dans un état non gonflé.

- 6 -

[0028] La largeur axiale de la bande de roulement est mesurée entre deux extrémités d'épaulement lorsque le pneumatique est monté sur sa jante de service et gonflé à sa pression nominale.

5 [0029] Une extrémité d'épaulement est définie, dans la zone de l'épaule du pneumatique, par la projection orthogonale sur la surface extérieure du pneumatique de l'intersection des tangentes aux surfaces d'une extrémité axialement extérieure de la bande de roulement (sommet des sculptures) d'une part et de l'extrémité radialement extérieure d'un flanc d'autre part.

10 [0030] Au sens de l'invention, la distance d_i est mesurée dans un plan méridien de fil à fil, c'est-à-dire entre le fil d'une première couche de travail et le fil d'une seconde couche de travail, selon une direction sensiblement perpendiculaire aux surfaces d'une couche de mélange caoutchouteux C_i . En d'autres termes, cette distance d_i englobe l'épaisseur de la couche de mélange caoutchouteux C_i et les épaisseurs respectives des mélanges caoutchouteux de calandrage, radialement extérieurs aux fils de la couche de travail radialement intérieure et au contact de la couche C_i et radialement intérieurs aux fils de la couche de travail radialement extérieure et au contact de la couche C_i .

15 [0031] Au sens de l'invention, l'épaisseur d'une couche de mélange caoutchouteux C_i est mesurée entre les deux surfaces de ladite couche C_i selon la projection orthogonale d'un point d'une surface sur l'autre surface.

20 [0032] Au sens de l'invention, l'épaisseur d'une couche de mélange caoutchouteux C_i est sensiblement constante signifie qu'elle ne varie pas de plus de 0.3 mm. Ces variations d'épaisseur ne sont dues qu'aux phénomènes de fluage lors de la fabrication et de la cuisson du pneumatique. La couche C_i sous forme de semi-fini, c'est-à-dire en tant qu'éléments prêt à être utilisé pour la réalisation d'un pneumatique présente ainsi avantageusement une épaisseur constante.

[0033] Les différentes mesures d'épaisseur sont effectuées sur une coupe transversale d'un pneumatique, le pneumatique étant donc dans un état non gonflé.

[0034] Lesdites au moins deux couches de mélange caoutchouteux C_i permettent d'obtenir un découplage des deux couches de sommet de travail respectivement à leur contact afin de

- 7 -

répartir les contraintes de cisaillement sur une plus grande épaisseur. Ces contraintes de cisaillement apparaissent notamment du fait de tensions circonférentielles lors du passage dans l'aire de contact.

5 [0035] Au sens de l'invention des couches couplées sont des couches dont les éléments de renforcement respectifs sont séparés radialement l'un de l'autre par la seule présence des couches de calandrage desdites couches. En d'autres termes, des couches couplées sont au contact l'une de l'autre.

10 [0036] Les conceptions de pneumatiques plus usuelles prévoient des couches de mélange caoutchouteux disposées entre les extrémités de deux couches de sommet de travail avec des épaisseurs plus importantes notamment au niveau de l'extrémité de la couche de travail la plus étroite et avec un profil d'épaisseur non homogène lorsque celui-ci est vu selon une coupe méridienne du pneumatique pour autoriser une telle épaisseur et pour éviter de trop perturber l'environnement de l'extrémité de la couche de travail la plus étroite. La présence de cette couche de mélange caoutchouteux permet notamment de limiter les contraintes de cisaillement entre les extrémités des couches de sommet de travail, les rigidités circonférentielles desdites couches de sommet de travail étant nulles à leur extrémité. La distance entre l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite et la couche de travail séparée de la couche de travail axialement la plus étroite par la couche de mélange caoutchouteux, mesurée conformément à la définition de d ci-dessus, est habituellement supérieure à 3.3 mm. Cela correspond à une épaisseur de la couche de mélange caoutchouteux d'au moins 2.5 mm alors que, généralement, son épaisseur tend à chacune de ses extrémités vers une valeur inférieure à 0.5 mm.

25 [0037] De préférence selon l'invention, l'armature de sommet comporte quatre couches de sommet de travail d'éléments de renforcement et trois couches de mélange caoutchouteux C1, C2, C3 sont respectivement disposées entre les extrémités desdites quatre couches de sommet de travail, l'épaisseur desdites quatre couches de sommet de travail mesurée dans le plan équatorial étant inférieure à 5 mm.

30 [0038] De préférence encore selon l'invention, la distance d_i entre deux couches de travail séparées par l'une des trois couches de mélange caoutchouteux C1, C2, C3 et mesurée à l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite à son contact est telle que $0.5 <$

- 8 -

$d_i < 2.5$ mm et, dans un plan méridien, l'épaisseur de chacune des trois couches de mélange caoutchouteux C1, C2, C3 est sensiblement constante sur la largeur axiale comprise entre son extrémité axialement intérieure et l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite à son contact.

5 [0039] Les résultats obtenus avec des pneumatiques conformes à l'invention ont effectivement mis en évidence qu'à performances au moins équivalentes en termes d'endurance et d'usure, les pneumatiques selon l'invention présentent une masse inférieure et des coûts de fabrication réduits.

10 [0040] Les inventeurs ont su mettre en évidence que cet allègement du pneumatique est lié à une diminution de l'épaisseur de l'armature de sommet du fait de la réduction du diamètre des éléments de renforcement des couches de travail. Cette diminution du diamètre des éléments de renforcement s'associe à des épaisseurs de mélange polymérique réduites par rapport à celles des pneumatiques usuels et ainsi une épaisseur globale de l'armature
15 sommet inférieure à celle des pneumatiques usuels malgré la présence de quatre couches de sommet de travail.

[0041] Les inventeurs ont notamment su mettre en évidence qu'il était possible de réduire les distances entre les éléments de renforcement au sein d'une même couche de sommet de travail par rapport à des conceptions plus usuelles sans nuire aux propriétés d'endurance du pneumatique. Il est en effet usuel de maintenir une distance minimum entre les éléments de
20 renforcement d'une même couche de travail pour limiter les phénomènes de propagation de fissures d'un élément à l'autre.

[0042] Les inventeurs pensent que la présence d'au moins trois couches de travail diminue les risques d'apparition de fissures au niveau des extrémités des couches de travail du fait de la répartition des contraintes entre les différentes paires de couches de travail soumises à des
25 effets de clivage. Cette diminution de l'amorce de fissure conduit ainsi à la possibilité de réduire les distances entre les éléments de renforcement.

[0043] Cette diminution des distances entre les éléments de renforcement d'une même couche de travail contribue à la diminution du volume de mélange polymérique et donc favorise la diminution de la masse du pneumatique.

- 9 -

[0044] Par ailleurs, la distance entre les éléments de renforcement, définie selon l'invention, associée au nombre de couches de sommet de travail permettent de conserver des propriétés de rigidité circonférentielle semblables à celles d'un pneumatique de conception plus usuelle.

5 [0045] Au niveau des épaules du pneumatique, la rigidité circonférentielle conférée par l'armature de sommet est même supérieure à celle obtenue avec des pneumatiques usuels. Les inventeurs pensent qu'encore une fois la présence d'au moins trois couches de sommet de travail, conduisant à une répartition des contraintes entre les différentes paires de couches de travail soumises à des effets de clivage et donc à une diminution des contraintes
10 entre chaque paire de couches de travail, permet de limiter les déplacements relatifs de deux couches de travail formant une paire adjacente et ainsi assure un couplage efficient au plus près des extrémités desdites couches de travail.

[0046] Les inventeurs ont su mettre en évidence que l'armature de sommet comportant au moins trois couches de sommet de travail permet de conserver des performances
15 notamment en termes d'endurance mais également en termes d'usure satisfaisantes avec au moins une couche de mélange caoutchouteux Ci d'épaisseur sensiblement constante sur la largeur axiale comprise entre l'extrémité axialement intérieure de ladite au moins une couche de mélange caoutchouteux Ci et l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite à son contact et telle que la distance d_i soit comprise 0.5 et 2.5 mm. Il semble en
20 effet, que l'armature de sommet comportant au moins trois couches de sommet de travail contribue suffisamment à la reprise d'au moins une partie de la tension circonférentielle au niveau des épaules notamment lors du passage dans l'aire de contact pour diminuer les contraintes de cisaillement entre les extrémités des différentes couches de sommet de travail. Les inventeurs confirment également que dans le cas de quatre couches
25 de travail, trois couches C1, C2, C3, d'épaisseurs sensiblement constantes et telles que les distances d_1 , d_2 d_3 soient comprise entre 0.5 et 2.5 mm, les performances notamment en termes d'endurance mais également en termes d'usure sont satisfaisantes.

[0047] Par ailleurs, les couches de mélange caoutchouteux C1, C2, C3 se présentent
30 avantageusement à l'état de semi-fini sous forme d'une couche d'épaisseur constante qui est simple de fabrication et en outre qui peut être stockée simplement. En effet, les couches

- 10 -

habituellement utilisées telles que décrites précédemment qui présentent en coupe une forme avec des variations d'épaisseur sont d'une part plus difficiles réaliser et d'autre part plus difficile à stocker. En effet, les variations d'épaisseur créent des problèmes de stockage, ces semi-finis étant le plus souvent stockés sous forme d'enroulement sur bobine.

5 [0048] La fabrication et le stockage des couches de mélange caoutchouteux C1, C2, C3 conformes à l'invention sous forme de semi-fini étant ainsi tellement simplifiés, il en résulte des coûts moindres pour la fabrication du pneumatique.

[0049] Les inventeurs ont encore mis en évidence que la rigidité circonférentielle plus importante aux épaules permet d'améliorer les propriétés du pneumatique en termes
10 d'usure. En effet, l'apparition d'inhomogénéités d'usure entre le centre et le bord de la bande de roulement apparaissant dans certaines conditions de roulage est diminuée par rapport à ce que l'on peut observer sur des conceptions plus usuelles. La diminution des diamètres des éléments de renforcement des couches de travail permet encore de diminuer la sensibilité du pneumatique aux agressions de la bande de roulement, l'architecture
15 sommet étant selon l'invention globalement plus souple qu'avec des pneumatiques plus usuels.

[0050] Avantageusement selon l'invention, pour obtenir des rigidités circonférentielles satisfaisantes, quelles que soient les conditions de roulage, le diamètre des fils métalliques unitaires des quatre couches de sommet de travail est supérieur ou égal à 0.25 mm.

20 [0051] Avantageusement selon l'invention, la rigidité par unité de largeur de chacune des couches de sommet de travail est comprise entre 35 et 70 daN/mm.

[0052] La rigidité par unité de largeur d'une couche d'éléments de renforcement est déterminée à partir des mesures effectuées sur les éléments de renforcement et de la densité d'éléments de renforcement de la couche, elle-même définie par le nombre d'éléments de
25 renforcement par unité de largeur.

[0053] La mesure de densité s'effectue en comptant visuellement le nombre de fils présents sur un échantillon de tissu non déformé d'une largeur de 10 cm. Le nombre de fils comptés est directement la valeur de densité du tissu en fils/dm.

- 11 -

[0054] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, notamment pour optimiser les gains en masse du pneumatique, une couche de sommet de travail d'éléments de renforcement comportant deux couches de calandrage entre lesquelles sont positionnés les éléments de renforcement, l'épaisseur de calandrage mesurée selon une direction radiale de part et d'autre d'un élément de renforcement est inférieure à 0.30 mm. Sur un pneumatique, la mesure de l'épaisseur de calandrage est obtenue en divisant par deux la distance entre les éléments de renforcement de deux couches d'éléments de renforcement au contact l'une de l'autre.

[0055] De préférence encore selon l'invention, l'angle moyen formé par les éléments de renforcement desdites au moins deux couches de travail avec la direction circonférentielle est inférieur à 30°. De telles valeurs d'angles permettent de limiter encore les déplacements relatifs de deux couches de travail du fait d'une plus grande rigidité circonférentielle.

[0056] Selon une première variante de réalisation de l'invention dans le cas de quatre couches de sommet de travail, les deux couches de sommet de travail radialement entre une couche de sommet de travail radialement la plus intérieure et une couche de sommet de travail radialement la plus extérieure sont axialement plus étroites que les deux couches de sommet de travail radialement la plus intérieure et radialement la plus extérieure. La couche de sommet de travail radialement la plus intérieure est alors avantageusement la couche axialement la plus large. Cette première variante de réalisation favorise une moindre dissipation thermique au niveau de la zone de l'épaule du pneumatique.

[0057] Selon une deuxième variante de réalisation de l'invention dans le cas de quatre couches de sommet de travail, les deux couches de sommet de travail radialement la plus intérieure et radialement la plus extérieure sont axialement plus étroites que les deux couches de sommet de travail radialement entre la couche de sommet de travail radialement la plus intérieure et la couche de sommet de travail radialement la plus extérieure. Cette deuxième variante de réalisation est particulièrement pertinente pour limiter les dégradations dues à des chocs trottoirs. Soit la couche de sommet de travail adjacente à la couche radialement la plus intérieure est la couche axialement la plus large ; une telle configuration permet d'éloigner les extrémités des couches de travail de la zone de l'impact. Soit la couche de sommet de travail adjacente à la couche radialement la plus extérieure est la

- 12 -

couche axialement la plus large ; une telle configuration permet alors d'éloigner les extrémités soumises à l'impact de l'armature de carcasse qui pourrait être impactée.

5 [0058] Selon d'autres variantes de réalisations de l'invention dans le cas de quatre couches de sommet de travail, une couche de sommet de travail radialement intérieure ou extérieure aux autres couches de sommet de travail et une couche de sommet de travail radialement entre les couches de sommet de travail radialement intérieure et extérieure sont axialement plus larges que les deux autres couches de sommet de travail.

10 [0059] Selon une variante avantageuse de l'invention, le module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement d'au moins une couche Ci de mélange caoutchouteux est inférieur à 8 MPa et la valeur maximale de $\tan(\delta)$, noté $\tan(\delta)_{\max}$, de ladite au moins une couche Ci est inférieure à 0.100.

15 [0060] Le facteur de perte $\tan(\delta)$ est une propriété dynamique de la couche de mélange caoutchouteux. Il est mesuré sur un viscoanalyseur, connu sous le nom commercial « Metravib VA4000 », selon la norme ASTM D 5992-96. On enregistre la réponse d'un échantillon de composition vulcanisée (éprouvette cylindrique de 2 mm d'épaisseur et de 78 mm² de section), soumis à une sollicitation sinusoïdale en cisaillement simple alterné, à la fréquence de 10Hz, à une température de 100°C. On effectue un balayage en amplitude de déformation de 0,1 à 50% (cycle aller), puis de 50% à 1% (cycle retour). Pour le cycle retour, on indique la valeur maximale de $\tan(\delta)$ observée, noté $\tan(\delta)_{\max}$.

20 [0061] La résistance au roulement est la résistance qui apparaît lorsque le pneumatique roule. Elle est représentée par les pertes hystérétiques liées à la déformation du pneumatique durant une révolution. Les valeurs de fréquence liées à la révolution du pneumatique correspondent à des valeurs de $\tan(\delta)$ mesurée entre 30 et 100°C. La valeur de $\tan(\delta)$ à 100 °C correspond ainsi à un indicateur de la résistance au roulement du pneumatique en
25 roulage.

[0062] Il est encore possible d'estimer la résistance au roulement par la mesure des pertes d'énergie par rebond des échantillons à énergie imposée à des températures de 60 °C et exprimées en pourcentage.

- 13 -

[0063] Avantageusement selon l'invention, la perte à 60 °C, notée P60, de ladite au moins une couche de mélange caoutchouteux Ci est inférieure à 20 %.

[0064] Selon cette variante de l'invention, les performances en termes de résistance au roulement sont améliorées et permettent de contribuer à une moindre consommation de carburant par les véhicules équipés de tels pneumatiques.

[0065] L'utilisation de tels mélanges dont les modules d'élasticité sont inférieurs ou égaux à 8 MPa et dont la valeur $\tan(\delta)_{\max}$ est inférieure à 0.100 va permettre d'améliorer les propriétés du pneumatique en matière de résistance au roulement en conservant des propriétés d'endurance satisfaisantes.

[0066] Selon un mode de réalisation préféré selon cette variante de réalisation de l'invention, ladite au moins une couche Ci de mélange caoutchouteux est un mélange élastomérique à base de caoutchouc naturel ou de polyisoprène synthétique à majorité d'enchaînements cis-1,4 et éventuellement d'au moins un autre élastomère diénique, le caoutchouc naturel ou le polyisoprène synthétique en cas de coupage étant présent à un taux majoritaire par rapport au taux de l'autre ou des autres élastomères diéniques utilisés et d'une charge renforçante constituée :

- a) soit par du noir de carbone de surface spécifique BET supérieure à 60 m²/g,
 - i. employé à un taux compris entre 20 et 40 pce lorsque l'indice de structure du noir (COAN) est supérieur à 85,
 - ii. employé à un taux compris entre 20 et 60 pce lorsque l'indice de structure du noir (COAN) est inférieur à 85,

b) soit par du noir de carbone de surface spécifique BET inférieure à 60 m²/g, quelle que soit son indice de structure, employé à un taux compris entre 20 et 80 pce, et de préférence entre 30 et 50 pce,

c) soit par une charge blanche de type silice et/ou alumine comportant des fonctions de surface SiOH et/ou AlOH choisie dans le groupe formé par les silices précipitées ou pyrogénées, les aluminosilicates ou bien encore les noirs de carbone modifiés en cours ou après la synthèse de surface spécifique BET comprise entre 30

- 14 -

et 260 m²/g employée à un taux compris entre 20 et 80 pce, et de préférence entre 30 et 50 pce,

- d) soit par un coupage de noir de carbone décrit en (a) et/ou de noir de carbone décrit en (b) et/ou une charge blanche décrite en (c), dans lequel le taux global de charge est compris entre 20 et 80 pce, et de préférence entre 40 et 60 pce.

[0067] La mesure de surface spécifique BET est effectuée selon la méthode de BRUNAUER, EMMET et TELLER décrite dans "The Journal of the American Chemical Society", vol. 60, page 309, février 1938, correspondant à la norme NFT 45007 de novembre 1987.

- [0068] L'indice de structure du noir COAN (Compressed Oil Absorption Number) est mesuré selon la norme ASTM D3493.

[0069] Dans le cas d'utilisation de charge claire ou charge blanche, il est nécessaire d'utiliser un agent de couplage et/ou de recouvrement choisi parmi les agents connus de l'homme de l'art. Comme exemples d'agents de couplage préférentiel, on peut citer les alcoxysilanes sulfurés du type polysulfure de bis-(3-trialcoxysilylpropyle), et parmi ceux-ci notamment le tétrasulfure de bis-(3-triéthoxysilylpropyle) commercialisé par la Société DEGUSSA sous les dénominations Si69 pour le produit liquide pur et X50S pour le produit solide (coupage 50/50 en poids avec du noir N330). Comme exemples d'agents de recouvrement on peut citer un alcool gras, un alkylalcoxysilane tel qu'un hexadécyltriméthoxy ou triéthoxysilane respectivement commercialisés par la Société DEGUSSA sous les dénominations Si116 et Si216, la diphénylguanidine, un polyéthylène glycol, une huile silicone éventuellement modifié au moyen des fonctions OH ou alcoxy. L'agent de recouvrement et/ou de couplage est utilisé dans un rapport pondéral par rapport à la charge \geq à 1/100 et \leq à 20/100, et préférentiellement compris entre 2/100 et 15/100 lorsque la charge claire représente la totalité de la charge renforçante et compris entre 1/100 et 20/100 lorsque la charge renforçante est constituée par un coupage de noir de carbone et de charge claire.

[0070] Comme autres exemples de charges renforçantes ayant la morphologie et les fonctions de surface SiOH et/ou AlOH des matières de type silice et/ou alumine précédemment décrites et pouvant être utilisées selon l'invention en remplacement partiel ou

- 15 -

total de celles-ci, on peut citer les noirs de carbone modifiés soit au cours de la synthèse par addition à l'huile d'alimentation du four d'un composé du silicium et/ou d'aluminium soit après la synthèse en ajoutant, à une suspension aqueuse de noir de carbone dans une solution de silicate et/ou d'aluminate de sodium, un acide de façon à recouvrir au moins partiellement la surface du noir de carbone de fonctions SiOH et/ou AlOH. Comme exemples non limitatifs de ce type de charges carbonées avec en surface des fonctions SiOH et/ou AlOH, on peut citer les charges type CSDP décrites dans la Conférence N° 24 du Meeting ACS, Rubber Division, Anaheim, Californie, 6-9 mai 1997 ainsi que celles de la demande de brevet EP-A-0 799 854.

10 [0071] Lorsqu'une charge claire est utilisée comme seule charge renforçante, les propriétés d'hystérèse et de cohésion sont obtenues en utilisant une silice précipitée ou pyrogénée, ou bien une alumine précipitée ou bien encore un aluminosilicate de surface spécifique BET comprise entre 30 et 260 m²/g. Comme exemples non limitatifs de ce type de charge, on peut citer les silices KS404 de la Société Akzo, Ultrasil VN2 ou VN3 et BV3370GR de la
15 Société Degussa, Zeopol 8745 de la Société Huber, Zeosil 175MP ou Zeosil 1165MP de la société Rhodia, HI-SIL 2000 de la Société PPG etc...

[0072] Parmi les élastomères diéniques pouvant être utilisés en coupage avec le caoutchouc naturel ou un polyisoprène synthétique à majorité d'enchaînements cis-1,4, on peut citer un polybutadiène (BR) de préférence à majorité d'enchaînements cis-1,4, un copolymère
20 styrène-butadiène (SBR) solution ou émulsion, un copolymère butadiène-isoprène (BIR) ou bien encore un terpolymère styrène-butadiène-isoprène (SBIR). Ces élastomères peuvent être des élastomères modifiés en cours de polymérisation ou après polymérisation au moyen d'agents de ramification comme un divinylbenzène ou d'agents d'étoilage tels que des carbonates, des halogénoétains, des halogénosiliciums ou bien encore au moyen d'agents de
25 fonctionnalisation conduisant à un greffage sur la chaîne ou en bout de chaîne de fonctions oxygénées carbonyle, carboxyle ou bien d'une fonction amine comme par exemple par action de la diméthyl ou de la diéthylamino benzophénone. Dans le cas de coupages de caoutchouc naturel ou de polyisoprène synthétique à majorité d'enchaînements cis-1,4 avec
30 le polyisoprène synthétique est utilisé de préférence à un taux majoritaire et plus préférentiellement à un taux supérieur à 70 pce.

- 16 -

[0073] Selon ce mode de réalisation préféré de l'invention, un module d'élasticité plus faible s'accompagne généralement d'un module visqueux G'' plus faible, cette évolution s'avérant favorable à une réduction de la résistance au roulement du pneumatique.

5 [0074] Les conceptions de pneumatiques plus usuelles prévoient des couches de mélange caoutchouteux disposées entre les extrémités des couches de sommet de travail avec des modules d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement supérieurs à 8.5 MPa, notamment pour permettre de limiter les contraintes de cisaillement entre les extrémités des couches de sommet de travail, les rigidités circonférentielles desdites couches de sommet de travail étant nulles à leur extrémité. De tels modules qui le plus souvent sont même supérieurs à 9
10 MPa permettent d'éviter les amorces et la propagation de fissuration dans les mélanges caoutchouteux aux extrémités desdites couches de sommet de travail et plus particulièrement à l'extrémité de la couche de travail la plus étroite.

[0075] Les inventeurs ont su mettre en évidence que la présence d'au moins trois couches de travail permet de conserver des performances notamment en termes d'endurance mais
15 également en termes d'usure satisfaisantes avec un module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement d'au moins une couche C_i inférieur à 8 MPa.

[0076] Les inventeurs ont encore su mettre en évidence que la cohésion de ladite au moins une couche C_i , lorsqu'elle présente un module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement inférieur à 8 MPa, reste satisfaisante.

20 [0077] Au sens de l'invention, un mélange caoutchouteux cohésif est un mélange caoutchouteux notamment robuste à la fissuration. La cohésion d'un mélange est ainsi évaluée par un test de fissuration en fatigue réalisé sur une éprouvette « PS » (pure shear). Il consiste à déterminer, après entaillage de l'éprouvette, la vitesse de propagation de fissure « V_p » (nm/cycle) en fonction du taux de restitution d'énergie « E » (J/m²). Le domaine
25 expérimental couvert par la mesure est compris dans la plage -20°C et +150°C en température, avec une atmosphère d'air ou d'azote. La sollicitation de l'éprouvette est un déplacement dynamique imposé d'amplitude comprise entre 0.1mm et 10mm sous forme de sollicitation de type impulsif (signal « haversine » tangent) avec un temps de repos égal à la durée de l'impulsion ; la fréquence du signal est de l'ordre de 10Hz en moyenne.

[0078] La mesure comprend 3 parties :

- Une accommodation de l'éprouvette « PS », de 1000 cycles à 27% de déformation.
- une caractérisation énergétique pour déterminer la loi « E » = f (déformation). Le taux de restitution d'énergie « E » est égal à $W_0 \cdot h_0$, avec W_0 = énergie fournie au matériau par cycle et par unité de volume et h_0 = hauteur initiale de l'éprouvette. L'exploitation des acquisitions « force / déplacement » donne ainsi la relation entre « E » et l'amplitude de la sollicitation.
- La mesure de fissuration, après entaillage de l'éprouvette « PS ». Les informations recueillies conduisent à déterminer la vitesse de propagation de la fissure « V_p » en fonction du niveau de sollicitation imposé « E ».

[0079] Les inventeurs ont notamment mis en évidence que la présence d'au moins trois couches de travail contribue à une moindre évolution de la cohésion de ladite au moins une couche C_i . En effet, les conceptions de pneumatiques plus usuelles comportant notamment des couches de mélange caoutchouteux disposées entre les extrémités des couches de sommet de travail avec des modules d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement supérieurs à 8.5 MPa, conduisent à une évolution de la cohésion desdites couches de mélange caoutchouteux disposées entre les extrémités des couches de sommet de travail, celle-ci tendant à s'affaiblir. Les inventeurs constatent que la présence d'au moins trois couches de travail qui limite les déplacements entre les extrémités des couches de sommet de travail associée à une valeur maximale de $\tan(\delta)$ d'au moins une couche C_i inférieure à 0.100 conduit à une faible évolution de la cohésion de ladite au moins une couche C_i du fait d'une limitation des augmentations de température. Les inventeurs considèrent ainsi que la cohésion de ladite au moins une couche C_i , plus faible que ce qui existe dans les conceptions de pneumatiques plus usuelles, est satisfaisante dans la conception du pneumatique selon l'invention.

[0080] Les inventeurs constatent encore que trois couches C_1 , C_2 , C_3 de mélange caoutchouteux associées à quatre couches de travail présentant un module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement inférieur à 8 MPa et une valeur maximale de $\tan(\delta)$, noté

- 18 -

$\tan(\delta)_{\max}$, inférieure à 0.100 présentent des performances en termes de résistance au roulement améliorées en conservant des propriétés d'endurance et d'usure satisfaisantes.

[0081] Selon une variante de réalisation de l'invention, le module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement d'au moins une couche de calandrage d'au moins une couche de
5 sommet de travail est inférieur à 8,5 MPa et la valeur maximale de $\tan(\delta)$, noté $\tan(\delta)_{\max}$, de ladite au moins une couche de calandrage d'au moins une couche de sommet de travail est inférieure à 0.100.

[0082] Habituellement, les modules d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement des
10 couches de calandrage des couches de sommet de travail sont supérieurs à 10 MPa. De tels modules d'élasticité sont requis pour permettre de limiter les mises en compression des éléments de renforcement des couches de sommet de travail notamment lorsque le véhicule suit un parcours sinueux, lors de manœuvres sur les parkings ou bien lors du passage de ronds-points. En effet, les cisaillements selon la direction axiale qui s'opèrent sur la bande de roulement dans la zone de la surface de contact avec le sol conduisent à la mise en
15 compression des éléments de renforcement d'une couche de sommet de travail.

[0083] Les inventeurs ont encore su mettre en évidence que la présence d'au moins trois
couches de travail conformément à l'invention autorise des modules d'élasticité plus faible sans nuire aux propriétés d'endurance du pneumatique du fait des mises en compressions des éléments de renforcement des couches de sommet de travail telles que décrites
20 précédemment.

[0084] Comme dans le cas des couches de mélange caoutchouteux Ci, l'utilisation d'au
moins une couche de calandrage d'au moins une couche de sommet de travail dont le module d'élasticité est inférieur ou égal à 8,5 MPa et dont la valeur $\tan(\delta)_{\max}$ est inférieure à 0.100 va permettre d'améliorer les propriétés du pneumatique en matière de résistance au
25 roulement en conservant des propriétés d'endurance satisfaisante.

[0085] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, ladite au moins une couche de calandrage d'au moins une couche de sommet de travail est un mélange élastomérique à base de caoutchouc naturel ou de polyisoprène synthétique à majorité d'enchaînements cis-1,4 et éventuellement d'au moins un autre élastomère diénique, le caoutchouc naturel ou le

- 19 -

polyisoprène synthétique en cas de coupage étant présent à un taux majoritaire par rapport au taux de l'autre ou des autres élastomères diéniques utilisés et d'une charge renforçante constituée :

- a) soit par du noir de carbone de surface spécifique BET supérieure à 60 m²/g,
 - 5 i. employé à un taux compris entre 20 et 40 pce lorsque l'indice de structure du noir (COAN) est supérieur à 85,
 - ii. employé à un taux compris entre 20 et 60 pce lorsque l'indice de structure du noir (COAN) est inférieur à 85,
- 10 b) soit par du noir de carbone de surface spécifique BET inférieure à 60 m²/g, quelle que soit son indice de structure, employé à un taux compris entre 20 et 80 pce, et de préférence entre 30 et 50 pce,
- c) soit par une charge blanche de type silice et/ou alumine comportant des fonctions de surface SiOH et/ou AlOH choisie dans le groupe formé par les silices précipitées ou pyrogénées, les aluminés ou les aluminosilicates ou bien encore les noirs de carbone
15 modifiés en cours ou après la synthèse de surface spécifique BET comprise entre 30 et 260 m²/g employée à un taux compris entre 20 et 80 pce, et de préférence entre 30 et 50 pce,
- d) soit par un coupage de noir de carbone décrit en (a) et/ou de noir de carbone décrit en (b) et/ou une charge blanche décrite en (c), dans lequel le taux global de charge
20 est compris entre 20 et 80 pce, et de préférence entre 40 et 60 pce.

[0086] Dans le cas d'utilisation de charge claire ou charge blanche, il est nécessaire d'utiliser un agent de couplage et/ou de recouvrement choisi parmi les agents connus de l'homme de l'art. Comme exemples d'agents de couplage préférentiel, on peut citer les alcoxysilanes sulfurés du type polysulfure de bis-(3-trialcoxysilylpropyle), et parmi ceux-ci notamment le
25 tétrasulfure de bis-(3-triéthoxysilylpropyle) commercialisé par la Société DEGUSSA sous les dénominations Si69 pour le produit liquide pur et X50S pour le produit solide (coupage 50/50 en poids avec du noir N330). Comme exemples d'agents de recouvrement on peut citer un alcool gras, un alkylalcoxysilane tel qu'un hexadécyltriméthoxy ou triéthoxysilane respectivement commercialisés par la Société DEGUSSA sous les dénominations Si116 et
30 Si216, la diphenylguanidine, un polyéthylène glycol, une huile silicone éventuellement

- 20 -

modifié au moyen des fonctions OH ou alcoxy. L'agent de recouvrement et/ou de couplage est utilisé dans un rapport pondéral par rapport à la charge \geq à 1/100 et \leq à 20/100, et préférentiellement compris entre 2/100 et 15/100 lorsque la charge claire représente la totalité de la charge renforçante et compris entre 1/100 et 20/100 lorsque la charge
5 renforçante est constituée par un coupage de noir de carbone et de charge claire.

[0087] Comme autres exemples de charges renforçantes ayant la morphologie et les fonctions de surface SiOH et/ou AlOH des matières de type silice et/ou alumine précédemment décrites et pouvant être utilisées selon l'invention en remplacement partiel ou total de celles-ci, on peut citer les noirs de carbone modifiés soit au cours de la synthèse par
10 addition à l'huile d'alimentation du four d'un composé du silicium et/ou d'aluminium soit après la synthèse en ajoutant, à une suspension aqueuse de noir de carbone dans une solution de silicate et/ou d'aluminate de sodium, un acide de façon à recouvrir au moins partiellement la surface du noir de carbone de fonctions SiOH et/ou AlOH. Comme
15 exemples non limitatifs de ce type de charges carbonées avec en surface des fonctions SiOH et/ou AlOH, on peut citer les charges type CSDP décrites dans la Conférence N° 24 du Meeting ACS, Rubber Division, Anaheim, Californie, 6-9 mai 1997 ainsi que celles de la demande de brevet EP-A-0 799 854.

[0088] Lorsqu'une charge claire est utilisée comme seule charge renforçante, les propriétés d'hystérèse et de cohésion sont obtenues en utilisant une silice précipitée ou pyrogénée, ou
20 bien une alumine précipitée ou bien encore un aluminosilicate de surface spécifique BET comprise entre 30 et 260 m²/g. Comme exemples non limitatifs de ce type de charge, on peut citer les silices KS404 de la Société Akzo, Ultrasil VN2 ou VN3 et BV3370GR de la Société Degussa, Zeopol 8745 de la Société Huber, Zeosil 175MP ou Zeosil 1165MP de la société Rhodia, HI-SIL 2000 de la Société PPG etc...

[0089] Parmi les élastomères diéniques pouvant être utilisés en coupage avec le caoutchouc naturel ou un polyisoprène synthétique à majorité d'enchaînements cis-1,4, on peut citer un
25 polybutadiène (BR) de préférence à majorité d'enchaînements cis-1,4, un copolymère styrène-butadiène (SBR) solution ou émulsion, un copolymère butadiène-isoprène (BIR) ou bien encore un terpolymère styrène-butadiène-isoprène (SBIR). Ces élastomères peuvent
30 être des élastomères modifiés en cours de polymérisation ou après polymérisation au moyen

- 21 -

d'agents de ramification comme un divinylbenzène ou d'agents d'étoilage tels que des carbonates, des halogénoétains, des halogénosiliciums ou bien encore au moyen d'agents de fonctionnalisation conduisant à un greffage sur la chaîne ou en bout de chaîne de fonctions oxygénées carbonyle, carboxyle ou bien d'une fonction amine comme par exemple par action de la diméthyl ou de la diéthylamino benzophénone. Dans le cas de coupages de caoutchouc naturel ou de polyisoprène synthétique à majorité d'enchaînements cis-1,4 avec un ou plusieurs des élastomères diéniques, mentionnés ci-dessus, le caoutchouc naturel ou le polyisoprène synthétique est utilisé de préférence à un taux majoritaire et plus préférentiellement à un taux supérieur à 70 pce.

10 **[0090]** Avantageusement encore selon l'invention, la différence entre le module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement d'une couche Ci et le module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement de ladite au moins une couche de calandrage d'au moins une couche de sommet de travail au contact de ladite au moins une couche Ci est inférieure à 2 MPa.

15 **[0091]** Selon un premier mode de réalisation, le module d'élasticité du calandrage d'une couche de sommet de travail dont l'extrémité est au contact d'une couche Ci de mélange caoutchouteux est supérieur à celui de ladite couche Ci de mélange caoutchouteux pour que l'empilement desdites couches présente un gradient de module d'élasticité favorable à la lutte contre l'amorce de fissuration en extrémité de la couche de sommet de travail la plus étroite.

20 **[0092]** Selon un deuxième mode de réalisation, les modules d'élasticité du calandrage des couches de sommet de travail et de celui de ladite couche Ci de mélange caoutchouteux sont identiques et avantageusement encore les mélanges caoutchouteux sont les mêmes pour simplifier les conditions industrielles de fabrication du pneumatique.

25 **[0093]** Le pneumatique selon l'invention tel qu'il vient d'être décrit dans ses variantes de réalisation présente donc une résistance au roulement améliorée par rapport aux pneumatiques usuels tout en conservant des performances en termes d'endurance et d'usure comparables.

[0094] En outre, les modules d'élasticité plus faibles des différents mélanges caoutchouteux permettent d'assouplir le sommet du pneumatique et ainsi de limiter les risques d'agressions

- 22 -

du sommet et de corrosion des éléments de renforcement des couches d'armature de sommet lorsque par exemple des cailloux sont retenus dans les fonds de sculpture.

[0095] Selon un mode de réalisation de l'invention, l'armature de sommet est complétée par une couche d'éléments de renforcement circonférentiels.

5 [0096] La présence d'une couche d'éléments de renforcement circonférentiels est contraire à l'allègement du pneumatique et décale alors le compromis de performances entre l'allègement et les propriétés d'endurance du pneumatique ; la couche d'éléments de renforcement circonférentiels peut permettre d'améliorer l'endurance du pneumatique pour des usages particulièrement sollicitant.

10 [0097] De préférence, au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels est radialement disposée entre deux couches de sommet de travail.

[0098] Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, les éléments de renforcement d'au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels sont des éléments de renforcement métalliques présentant un module sécant à 0,7 % d'allongement
15 compris entre 10 et 120 GPa et un module tangent maximum inférieur à 150 GPa.

[0099] Selon une réalisation préférée, le module sécant des éléments de renforcement à 0,7 % d'allongement est inférieur à 100 GPa et supérieur à 20 GPa, de préférence compris entre 30 et 90 GPa et de préférence encore inférieur à 80 GPa.

[00100] De préférence également, le module tangent maximum des éléments de
20 renforcement est inférieur à 130 GPa et de préférence encore inférieur à 120 GPa.

[00101] Les modules exprimés ci-dessus sont mesurés sur une courbe contrainte de traction en fonction de l'allongement, la contrainte de traction correspondant à la tension mesurée, avec une pré-tension de 5N, ramenée à la section de métal de l'élément de renforcement.

25 [00102] Selon un mode de réalisation préféré, les éléments de renforcements d'au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels sont des éléments de renforcement métalliques présentant une courbe contrainte de traction en fonction de l'allongement relatif

ayant des faibles pentes pour les faibles allongements et une pente sensiblement constante et forte pour les allongements supérieurs. De tels éléments de renforcement de la nappe additionnelle sont habituellement dénommés éléments "bi-module".

5 [00103] Selon une réalisation préférée de l'invention, la pente sensiblement constante et forte apparaît à partir d'un allongement relatif compris entre 0,4% et 0,7%.

[00104] Les **différentes** caractéristiques des éléments de renforcement énoncées ci-dessus sont mesurées sur des éléments de renforcement prélevés sur des pneumatiques.

10 [00105] Des éléments de renforcement plus particulièrement adaptés à la réalisation d'au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels selon l'invention sont par exemple des assemblages de construction $3x(0.26+6x0.23)$ 5.0/7.5 SS. Un tel câble présente un module sécant à 0,7 % égal à 45 GPa et un module tangent maximum égal à 100 GPa, mesurés sur une courbe contrainte de traction en fonction de l'allongement, la contrainte de traction correspondant à la tension mesurée, avec une pré-tension de 5N, ramenée à la section de métal de l'élément de renforcement, de 0.98 mm² dans le cas de
15 l'exemple considéré.

[00106] Selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, les éléments de renforcement circonférentiels peuvent être formées d'éléments métalliques et coupés de manière à former des tronçons de longueur très inférieure à la circonférence de la couche la moins longue, mais préférentiellement supérieure à 0,1 fois ladite circonférence, les coupures entre tronçons étant axialement décalées les unes par rapport aux autres. De préférence encore, le module d'élasticité à la traction par unité de largeur de la couche additionnelle est inférieur au module d'élasticité à la traction, mesuré dans les mêmes conditions, de la couche de sommet de travail la plus extensible. Un tel mode de réalisation permet de conférer, de manière simple, à la couche d'éléments de renforcement
20 circonférentiels un module pouvant facilement être ajusté (par le choix des intervalles entre tronçons d'une même rangée), mais dans tous les cas plus faible que le module de la couche constituée des mêmes éléments métalliques mais continus, le module de la couche additionnelle étant mesuré sur une couche vulcanisée d'éléments coupés, prélevée sur le pneumatique.

- 24 -

[00107] Selon un troisième mode de réalisation de l'invention, les éléments de renforcement circonférentiels sont des éléments métalliques ondulés, le rapport a/λ de l'amplitude d'ondulation sur la longueur d'onde étant au plus égale à 0,09. De préférence, le module d'élasticité à la traction par unité de largeur de la couche additionnelle est inférieur
5 au module d'élasticité à la traction, mesuré dans les mêmes conditions, de la couche de sommet de travail la plus extensible.

[00108] Une réalisation préférée de l'invention prévoit encore que l'armature de sommet est complétée radialement à l'extérieur par au moins une couche supplémentaire, dite de protection, d'éléments de renforcement, orientés par rapport à la direction
10 circonférentielle avec un angle compris entre 10° et 45° et de même sens que l'angle formé par les éléments de la couche de travail qui lui est radialement adjacente.

[00109] Selon un premier mode de réalisation de l'invention, correspondant à des conceptions usuelles des pneumatiques, les éléments de renforcement de la couche de protection sont des câbles élastiques.

15 [00110] Selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, les éléments de renforcement de la couche de protection sont des fils métalliques unitaires de diamètre inférieur à 0.50 mm, la distance entre les éléments de renforcement, mesurée selon la normale à la direction de la ligne moyenne du fil, étant strictement inférieure à 1.5 mm.

[00111] D'autres détails et caractéristiques avantageux de l'invention ressortiront ci-
20 après de la description des exemples de réalisation de l'invention en référence aux figures 1 et 2 qui représentent :

- figure 1, une vue méridienne d'un schéma d'un pneumatique selon un premier mode de réalisation de l'invention,
- figure 2, une vue méridienne d'un schéma d'un pneumatique selon un deuxième
25 mode de réalisation de l'invention,
- figure 3, une vue méridienne d'un schéma d'un pneumatique selon un troisième mode de réalisation de l'invention,
- figure 4, une vue méridienne d'un schéma d'un pneumatique selon l'art antérieur.

- 25 -

[00112] Les figures ne sont pas représentées à l'échelle pour en simplifier la compréhension. Les figures ne représentent qu'une demi-vue d'un pneumatique qui se prolonge de manière symétrique par rapport à l'axe XX' qui représente le plan médian circonférentiel, ou plan équatorial, d'un pneumatique.

5 [00113] Sur les figures, les pneumatiques 1-41, de dimension 385/55 R 22.5, ont un rapport de forme H/S égal à 0,55, H étant la hauteur du pneumatique 1-41 sur sa jante de montage et S sa largeur axiale maximale. Lesdits pneumatiques 1-41 comprennent une armature de carcasse radiale 2-42 ancrée dans deux bourrelets, non représentés sur les figures. L'armature de carcasse 2-42 est formée d'une seule couche de câbles métalliques.
10 Ils comportent encore une bande de roulement 5-45.

[00114] Sur la figure 1, l'armature de carcasse 2 est frettée conformément à l'invention par une armature de sommet 4, formée radialement de l'intérieur à l'extérieur :

- d'une première couche de travail 41 formée de fils métalliques orientés d'un angle égal à -18° ,
- 15 - d'une deuxième couche de travail 42 formée de fils métalliques orientés d'un angle égal à 18° ,
- d'une troisième couche de travail 43 formée de fils métalliques orientés d'un angle égal à -18° ,
- d'une couche de protection 45 formées de câbles métalliques élastiques 6.35,
20 parallèles aux fils métalliques de la couche de travail 43.

[00115] Les fils métalliques constituant les éléments de renforcement des trois couches de travail sont des fils de type UHT présentant un diamètre de 0.35 mm. Des fils de type SHT ou de grades supérieurs pourraient encore être utilisés. Ils sont répartis dans chacune des couches de travail avec une distance entre les éléments de renforcement, mesurée selon
25 la normale à la direction de la ligne moyenne du fil égale à 0.35 mm.

[00116] La largeur axiale L_{41} de la première couche de travail 41 est égale à 300 mm.

[00117] La largeur axiale L_{42} de la deuxième couche de travail 42 est égale à 320 mm.

- 26 -

[00118] La largeur axiale L_{43} de la troisième couche de travail 43 est égale à 300 mm.

[00119] La largeur axiale L_{45} de la couche de protection 45 est égale à 220 mm.

[00120] La largeur axiale de la bande de roulement L_5 est égale à 312 mm.

5 [00121] L'épaisseur des trois couches de sommet de travail mesurée dans le plan équatorial est égale à 2.5 mm et donc inférieure à 5 mm.

[00122] Conformément à l'invention, deux couches de mélange caoutchouteux C1, C2 viennent respectivement découpler les extrémités des couches de sommet de travail 41, 42 et 43.

10 [00123] La zone d'engagement de la couche C1 entre les deux couches de sommet de travail 41 et 42 est définie par son épaisseur et plus précisément la distance radiale d_1 entre l'extrémité de la couche 42 et la couche 41. La distance radiale d_1 est égale à 2 mm, ce qui correspond à une épaisseur de la couche C1 égale à 1.5 mm. Conformément à l'invention, l'épaisseur de la couche C1 est sensiblement identique dans une vue méridienne sur la largeur axiale comprise entre l'extrémité axialement intérieure de la couche C1 et
15 l'extrémité de la couche de travail 42, axialement la plus étroite.

[00124] Concernant la couche C2 entre les deux couches de sommet de travail 42 et 43, elle est d'une part définie par son épaisseur et plus précisément la distance radiale d_2 entre l'extrémité de la couche 42 et la couche 43 et d'autre part par sa forme non régulière dans une vue méridienne, celle-ci étant la plus épaisse à l'extrémité de la couche 42, son
20 épaisseur diminuant pour atteindre des valeurs de l'ordre de 0.5 mm à ses extrémités. La distance radiale d_2 est égale à 3.5 mm, ce qui correspond à une épaisseur de la couche C2 égale à 2.7 mm.

[00125] Sur la figure 2, l'armature de carcasse 22 est frettée conformément à l'invention par une armature de sommet 24, formée radialement de l'intérieur à l'extérieur :

25 - d'une première couche de travail 241 formée de fils métalliques orientés d'un angle égal à 18° ,

- 27 -

- d'une deuxième couche de travail 242 formée de fils métalliques orientés d'un angle égal à -18° ,
- d'une troisième couche de travail 243 formée de fils métalliques orientés d'un angle égal à 18° ,
- 5 - d'une quatrième couche de travail 244 formée de fils métalliques orientés d'un angle égal à -18° ,
- d'une couche de protection 245 formées de câbles métalliques élastiques 6.35, parallèles aux fils métalliques de la couche de travail 244.

[00126] Les fils métalliques constituant les éléments de renforcement des quatre couches
10 de travail sont des fils de type UHT présentant un diamètre de 0.35 mm. Des fils de type SHT ou de grades supérieurs pourraient encore être utilisés. Ils sont répartis dans chacune des couches de travail avec une distance entre les éléments de renforcement, mesurée selon la normale à la direction de la ligne moyenne du fil égale à 0.35 mm.

[00127] La largeur axiale L_{241} de la première couche de travail 241 est égale à 300 mm.

15 [00128] La largeur axiale L_{242} de la deuxième couche de travail 242 est égale à 320 mm.

[00129] La largeur axiale L_{243} de la troisième couche de travail 243 est égale à 300 mm.

[00130] La largeur axiale L_{244} de la quatrième couche de travail 244 est égale à 280 mm.

[00131] La largeur axiale L_{245} de la couche de protection 245 est égale à 220 mm.

[00132] La largeur axiale de la bande de roulement L_{25} est égale à 312 mm.

20 [00133] L'épaisseur des quatre couches de sommet de travail mesurée dans le plan équatorial est égale à 3.3 mm et donc inférieure à 5 mm.

[00134] Conformément à l'invention, trois couches de mélange caoutchouteux C1, C2, C3 viennent respectivement découpler les extrémités des couches de sommet de travail 241, 242, 243 et 244.

- 28 -

[00135] La zone d'engagement des couches C1 et C3 respectivement entre les deux couches de sommet de travail 241, 242 et 243, 244 est définie par leurs épaisseurs et plus précisément les distances radiales d_1 et d_3 respectivement entre l'extrémité de la couche 242 et la couche 241 et entre l'extrémité de la couche 243 et la couche 244. Les distances radiales d_1 et d_3 sont égales à 2 mm, ce qui correspond à une épaisseur des couches C1 et C3 égale à 1.5 mm. Conformément à l'invention, l'épaisseur de la couche C1 est sensiblement identique dans une vue méridienne sur la largeur axiale comprise entre l'extrémité axialement intérieure de la couche C1 et l'extrémité de la couche de travail 42, axialement la plus étroite à son contact. De même, l'épaisseur de la couche C3 est sensiblement identique dans une vue méridienne sur la largeur axiale comprise entre l'extrémité axialement intérieure de la couche C3 et l'extrémité de la couche de travail 43, axialement la plus étroite à son contact.

[00136] Concernant la couche C2 entre les deux couches de sommet de travail 242 et 243, elle est d'une part définie par son épaisseur et plus précisément la distance radiale d_2 entre l'extrémité de la couche 242 et la couche 243 et d'autre part par sa forme non régulière dans une vue méridienne, celle-ci étant la plus épaisse à l'extrémité de la couche 42, son épaisseur diminuant pour atteindre des valeurs de l'ordre de 0.5 mm à ses extrémités. La distance radiale d_2 est égale à 3.5 mm, ce qui correspond à une épaisseur de la couche C2 égale à 2.7 mm.

[00137] Sur la figure 3, l'armature de carcasse 32 est frettée conformément à l'invention par une armature de sommet 34, formée radialement de l'intérieur à l'extérieur :

- d'une première couche de travail 341 formée de fils métalliques orientés d'un angle égal à 18° ,
- d'une deuxième couche de travail 342 formée de fils métalliques orientés d'un angle égal à -18° ,
- d'une troisième couche de travail 343 formée de fils métalliques orientés d'un angle égal à 18° ,
- d'une quatrième couche de travail 344 formée de fils métalliques orientés d'un angle égal à -18° ,

- 29 -

- d'une couche de protection 345 formées de câbles métalliques élastiques 6.35, parallèles aux fils métalliques de la couche de travail 344.

[00138] Les fils métalliques constituant les éléments de renforcement des quatre couches de travail sont des fils de type UHT présentant un diamètre de 0.35 mm. Des fils de type SHT ou de grades supérieurs pourraient encore être utilisés. Ils sont répartis dans chacune des couches de travail avec une distance entre les éléments de renforcement, mesurée selon la normale à la direction de la ligne moyenne du fil égale à 0.35 mm.

[00139] La largeur axiale L_{341} de la première couche de travail 341 est égale à 300 mm.

[00140] La largeur axiale L_{342} de la première couche de travail 342 est égale à 320 mm.

[00141] La largeur axiale L_{343} de la première couche de travail 343 est égale à 300 mm.

[00142] La largeur axiale L_{344} de la première couche de travail 344 est égale à 280 mm.

[00143] La largeur axiale L_{245} de la couche de protection 245 est égale à 220 mm.

[00144] La largeur axiale de la bande de roulement L_{25} est égale à 312 mm.

[00145] L'épaisseur des quatre couches de sommet de travail mesurée dans le plan équatorial est égale à 3.3 mm et donc inférieure à 5 mm.

[00146] Conformément à l'invention et comme dans le cas de la figure 2, trois couches de mélange caoutchouteux C1, C2, C3 viennent respectivement découpler les extrémités des couches de sommet de travail 341, 342, 343 et 344.

[00147] Dans le cas de la figure 3, les trois couches C1, C2, C3 sont sensiblement identiques.

[00148] La zone d'engagement des couches C1, C2 et C3 respectivement entre les deux couches de sommet de travail 341 et 342, 342 et 343, 343 et 344 est définie par leurs épaisseurs et plus précisément les distances radiales d_1 , d_2 et d_3 respectivement entre l'extrémité de la couche 342 et la couche 341, entre l'extrémité de la couche 342 et la couche 343 et entre l'extrémité de la couche 343 et la couche 344. Les distances radiales d_1 ,

- 30 -

d_2 et d_3 sont égales à 2 mm, ce qui correspond à une épaisseur des couches C1, C2 et C3 égale à 1.5 mm. Conformément à l'invention, l'épaisseur de la couche C1 est sensiblement identique dans une vue méridienne sur la largeur axiale comprise entre l'extrémité axialement intérieure de la couche C1 et l'extrémité de la couche de travail 342, axialement la plus étroite à son contact. De même, l'épaisseur de la couche C2 est sensiblement identique dans une vue méridienne sur la largeur axiale comprise entre l'extrémité axialement intérieure de la couche C3 et l'extrémité de la couche de travail 342, axialement la plus étroite à son contact. De même encore, l'épaisseur de la couche C3 est sensiblement identique dans une vue méridienne sur la largeur axiale comprise entre l'extrémité axialement intérieure de la couche C3 et l'extrémité de la couche de travail 343, axialement la plus étroite à son contact.

[00149] Sur la figure 4, l'armature de carcasse 42 est frettée par une armature de sommet 44, formée radialement de l'intérieur à l'extérieur :

- d'une première couche de triangulation 440 formée de câbles métalliques 9.35 non frettés orientés d'un angle égal à 50° ,
- d'une première couche de travail 441 formée de câbles métalliques 9.35 non frettés, continus sur toute la largeur de la nappe, orientés d'un angle égal à 18° ,
- d'une seconde couche de travail 442 formée de câbles métalliques 9.35 non frettés, continus sur toute la largeur de la nappe, orientés d'un angle égal à 18° et croisés avec les câbles métalliques de la couche 441,
- d'une couche de protection 443 formée de câbles métalliques élastiques 6.35.

[00150] Les câbles métalliques inextensibles 9.35 des couches de travail 441 et 442 sont répartis dans chacune des couches de travail avec une distance entre les éléments de renforcement, mesurée selon la normale à la direction de la ligne moyenne du fil égale à 1 mm.

[00151] La largeur axiale L_{440} de la couche de triangulation 440 est égale à 302 mm.

[00152] La largeur axiale L_{441} de la première couche de travail 441 est égale à 318 mm.

[00153] La largeur axiale L_{442} de la deuxième couche de travail 442 est égale à 296 mm.

- 31 -

[00154] La largeur axiale L_{443} de la couche de protection 443 est égale à 220 mm.

[00155] La largeur axiale de la bande de roulement L_{45} est égale à 312 mm.

[00156] L'épaisseur des trois couches de sommet 440, 441, 442 mesurée dans le plan équatorial est égale à 6.5 mm.

5 [00157] Sur la largeur restante commune aux deux couches de travail, les deux couches de travail 441, 442 sont séparées par la couche de mélange caoutchouteux C. La couche C est d'une part définie par son épaisseur et plus précisément la distance radiale d entre l'extrémité de la couche 442 et la couche 441 et d'autre part par sa forme non régulière dans une vue méridienne, celle-ci étant la plus épaisse à l'extrémité de la couche 442, son
10 épaisseur diminuant pour atteindre des valeurs de l'ordre de 0.5 mm à ses extrémités. La distance radiale d est égale à 3.5 mm, ce qui correspond à une épaisseur de la couche C égale à 2.7 mm.

[00158] La réalisation de pneumatiques selon l'invention a mis en évidence une simplification de la fabrication, du conditionnement et du stockage des couches C_i de
15 mélange caoutchouteux en tant que produit semi-fini avant de réaliser un pneumatique. La réalisation elle-même du pneumatique est également simplifiée, la mise en place et la précision de mise en place desdites couches C_i étant plus simple du fait de leur forme homogène concernant leur section.

[00159] La masse cumulée des quatre couches de travail 341, 342, 343 et 344 du
20 pneumatique selon l'invention réalisé conformément à la représentation de la figure 3, comprenant la masse des fils métalliques et des mélanges de calandrage, se monte ainsi à 6.3 Kg. La masse du pneumatique selon l'invention réalisé conformément à la représentation de la figure 2 est égale à 61 Kg.

[00160] La masse cumulée des couches de sommet 440, 441, 442 du pneumatique
25 réalisé conformément à la représentation de la figure 3, comprenant la masse des câbles métalliques et des mélanges de calandrage, se monte à 12.6 Kg. La masse du pneumatique réalisé conformément à la représentation de la figure 3 est égale à 67 Kg.

- 32 -

[00161] Des essais ont été réalisés avec des pneumatiques réalisés conformément à la figure 3, le pneumatique réalisé conformément à la figure 4 étant le pneumatique de référence.

5 [00162] Des premiers essais d'endurance ont été réalisés sur une machine de test imposant à chacun des pneumatiques un roulage ligne droite à une vitesse égale à l'indice de vitesse maximum prescrit pour ledit pneumatique (speed index) sous une charge initiale de 4000 Kg progressivement augmentée pour réduire la durée du test.

10 [00163] D'autres essais d'endurance ont été réalisés sur une machine de tests imposant de façon cyclique un effort transversal et une surcharge dynamique aux pneumatiques. Les essais ont été réalisés pour les pneumatiques selon l'invention avec des conditions identiques à celles appliquées aux pneumatiques de référence.

15 [00164] Les essais ainsi réalisés ont montré que les distances parcourues lors de chacun de ces tests sont sensiblement identiques pour les pneumatiques selon l'invention et les pneumatiques de référence. Il apparaît donc que les pneumatiques selon l'invention présentent des performances sensiblement équivalentes en termes d'endurance à celles des pneumatiques de référence.

20 [00165] D'autres tests ont été réalisés pour évaluer, en conditions réelles sur véhicules, les performances en usure des pneumatiques. Les conditions de roulage, notamment le circuit emprunté, sont déterminées pour être représentatives d'un type d'usage particulier, en la circonstance un usage de type autoroutier plus pénalisant vis-à-vis de l'usure irrégulière. A l'issue des roulages, on constate une meilleure régularité de l'usure des pneumatiques selon l'invention qui se traduit par un potentiel de durée de vie supplémentaire.

[00166] Par ailleurs, des mesures de résistance au roulement ont été effectuées.

25 [00167] Ces essais sont réalisés avec des pneumatiques selon l'invention en faisant varier les caractéristiques des mélanges des couches C1, C2, C3, notamment leur module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement et la valeur $\tan(\delta)_{\max}$, conformément à l'invention.

- 33 -

[00168] D'autres essais sont encore réalisés avec des pneumatiques selon l'invention en faisant également varier les caractéristiques des mélanges couches de calandrage des couches de travail, notamment leur module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement et la valeur $\tan(\delta)_{\max}$, conformément à l'invention.

5 [00169] Les différents mélanges utilisés sont listés ci-après, en exprimant pour chacun le module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement ainsi que les valeurs $\tan(\delta)_{\max}$ et P60.

	Mélange R1	Mélange R2	Mélange 1	Mélange 2	Mélange 3	Mélange 4	Mélange 5
NR	100	100	100	100	100	100	100
Noir N347	52	50		33			
Noir N683						44	30
Noir N326			47				
Silice 165G					46		
Antioxydant (6PPD)	1	1.8	1.5	1	2	1	1
Acide stéarique	0.65	0.6	0.9	0.65	1	0.65	0.65
Oxyde de zinc	9.3	9.3	7.5	9.3	8	9.3	9.3
Sel de Cobalt (AcacCo)	1.12		1.12	1.12	1.1	1.12	1.12
Sel de Cobalt (AbietateCo)		4.5					
Silane sur noir					8.3		
soufre	6.1	5.6	4.5	6.1	4.8	6.1	6.1
Accélérateur DCBS	0.93	0.8	0.8	0.93		0.93	0.93
Accélérateur TBBS					1.01		
Co-accélérateur DPG					1.1		
Retardateur CTP PVI)	0.25		0.15	0.25	0.2	0.25	0.25
MA ₁₀ (MPa)	10.4	8.5	5.99	5.56	7.25	6.16	4.4
$\tan(\delta)_{\max}$	0.130	0.141	0.099	0.074	0.063	0.056	0.030
P60 (%)	22.9	24.5	18.7	14.9	13.3	12.2	8.5

[00170] Les valeurs des constituants sont exprimées en pce (parties en poids pour cent parties d'élastomères.

[00171] Concernant le pneumatique de référence, noté T1, la couche C est constituée du mélange R2 et les calandrages des couches de travail 441, 443 sont constitués du mélange R1.

[00172] Différents pneumatiques selon l'invention ont été testés.

[00173] Une première série de pneumatiques S1 conforme à l'invention (figure 3) a été réalisée avec des couches C1, C2, C3 constituées du mélange R2, les calandrages des couches de travail étant constitués du mélange R1.

[00174] Une deuxième série de pneumatiques S2 conforme à l'invention (figure 3) a été réalisée avec des couches C1, C2, C3 constituées des mélanges 1 à 5, les calandrages des couches de travail étant constitués du mélange R1.

[00175] Une troisième série de pneumatiques S3 conforme à l'invention (figure 3) a été réalisée avec des couches C1, C2, C3 constituées du mélange R2, les calandrages des couches de travail étant constitués des mélanges 1 à 5.

[00176] Une quatrième série de pneumatiques S4 conforme à l'invention (figure 3) a été réalisée avec des couches C1, C2, C3 constituées des mélanges 1 à 5, les calandrages des couches de travail étant également constitués des mélanges 1 à 5. Certains pneumatiques de cette série S2 ont été réalisés avec des mélanges identiques pour les couches C1, C2, C3 et les calandrages des couches de travail et d'autres avec des mélanges différents.

[00177] Les résultats des mesures sont présentés dans le tableau suivant ; elles sont exprimées en Kg/t, une valeur de 100 étant attribuée au pneumatique T1.

Pneumatique T1	Pneumatique S1	Pneumatique S2	Pneumatique S3	Pneumatique S4
100	100	99	97	96

REVENDICATIONS

1 – Pneumatique (1) à armature de carcasse radiale (2) pour véhicule de type poids lourd comprenant une armature de sommet (4) comportant au moins trois couches de sommet de travail (41, 42, 43) d'éléments de renforcement, croisés d'une couche à l'autre en faisant avec la direction circonférentielle des angles compris entre 10° et 45° , elle-même coiffée radialement d'une bande de roulement (5), ladite bande de roulement étant réunie à deux bourrelets par l'intermédiaire de deux flancs, au moins deux couches de mélange caoutchouteux (Ci) étant disposées entre les extrémités desdites au moins trois couches de sommet de travail (41, 42, 43), **caractérisé en ce que**, dans un plan méridien, l'épaisseur desdites au moins trois couches de sommet de travail (41, 42, 43) mesurée dans le plan équatorial est inférieure à 5 mm, **en ce que** les éléments de renforcements desdites au moins trois couches de sommet de travail (41, 42, 43) sont des fils métalliques unitaires de diamètre inférieur à 0.50 mm, **en ce que** la distance entre les éléments de renforcement, mesurée selon la normale à la direction de la ligne moyenne du fil, est strictement inférieure à 1 mm, **en ce que** la largeur axiale (L_{41} , L_{42} , L_{43}) de chacune desdites au moins trois couches de sommet de travail (41, 42, 43) est supérieure à 60 % de la largeur axiale (L_5) de la bande de roulement, **en ce qu'**au moins une distance d_i entre deux couches de travail séparées par une couche de mélange caoutchouteux (Ci) et mesurée à l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite à son contact est telle que $0,5 < d_i < 2.5$ mm, et **en ce que**, dans un plan méridien, l'épaisseur d'au moins une couche de mélange caoutchouteux (Ci) est sensiblement constante sur la largeur axiale comprise entre l'extrémité axialement intérieure d'une couche de mélange caoutchouteux (Ci) et l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite à son contact.

2 - Pneumatique (1) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le diamètre des fils métalliques unitaires desdites au moins trois couches de sommet de travail (41, 42, 43) est supérieur ou égal à 0.25 mm.

3 - Pneumatique (1) selon la revendication 1 ou 2, une couche de sommet de travail (41, 42, 43) d'éléments de renforcement comportant deux couches de calandrage entre lesquelles sont positionnés les éléments de renforcement, **caractérisé en ce que** l'épaisseur de calandrage mesurée selon une direction radiale de part et d'autre d'un élément de renforcement est inférieure à 0.30 mm.

- 36 -

4 - Pneumatique (1) selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** la rigidité par unité de largeur de chacune des couches de sommet de travail (41, 42, 43) est comprise entre 35 et 70 daN/mm.

5 - Pneumatique (21) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'armature de sommet (24) comporte quatre couches de sommet de travail (241, 242, 243, 244) d'éléments de renforcement et **en ce que** trois couches de mélange caoutchouteux (C1, C2, C3) sont respectivement disposées entre les extrémités desdites quatre couches de sommet de travail.

6 - Pneumatique (31) selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** la distance d_i entre deux couches de travail (341, 342, 343, 344) séparées par l'une des trois couches de mélange caoutchouteux (C1, C2, C3) et mesurée à l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite à son contact est telle que $0,5 < d_i < 2$ mm, et **en ce que**, dans un plan méridien, l'épaisseur de chacune des trois couches de mélange caoutchouteux (C1, C2, C3) est sensiblement constante sur la largeur axiale comprise entre son extrémité axialement intérieure et l'extrémité de la couche de travail axialement la plus étroite à son contact.

7 - Pneumatique (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement d'au moins une couche (Ci) est inférieur à 8 MPa et **en ce que** la valeur maximale de $\tan(\delta)$, noté $\tan(\delta)_{\max}$, de la couche (Ci) est inférieure à 0.100.

8 - Pneumatique (1) selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** ladite au moins une couche (Ci) de mélange caoutchouteux est un mélange élastomérique à base de caoutchouc naturel ou de polyisoprène synthétique à majorité d'enchaînements cis-1,4 et éventuellement d'au moins un autre élastomère diénique, le caoutchouc naturel ou le polyisoprène synthétique en cas de coupage étant présent à un taux majoritaire par rapport au taux de l'autre ou des autres élastomères diéniques utilisés et d'une charge renforçante constituée :

a) soit par du noir de carbone de surface spécifique BET supérieure à 60 m²/g,

i. employé à un taux compris entre 20 et 40 pce lorsque l'indice de structure du noir (COAN) est supérieur à 85,

- 37 -

- ii. employé à un taux compris entre 20 et 60 pce lorsque l'indice de structure du noir (COAN) est inférieur à 85,
- b) soit par du noir de carbone de surface spécifique BET inférieure à 60 m²/g, quelle que soit son indice de structure, employé à un taux compris entre 20 et 80 pce, et de préférence entre 30 et 50 pce,
- c) soit par une charge blanche de type silice et/ou alumine comportant des fonctions de surface SiOH et/ou AlOH choisie dans le groupe formé par les silices précipitées ou pyrogénées, les aluminés ou les aluminosilicates ou bien encore les noirs de carbone modifiés en cours ou après la synthèse de surface spécifique BET comprise entre 30 et 260 m²/g employée à un taux compris entre 20 et 80 pce, et de préférence entre 30 et 50 pce,
- d) soit par un coupage de noir de carbone décrit en (a) et/ou de noir de carbone décrit en (b) et/ou une charge blanche décrite en (c), dans lequel le taux global de charge est compris entre 20 et 80 pce, et de préférence entre 40 et 60 pce.

9 - Pneumatique (1) selon l'une des revendications précédentes, lesdites au moins trois couches de sommet de travail (41, 42, 43) étant chacune formée d'éléments de renforcement insérés entre deux couches de calandrage de mélange caoutchouteux, **caractérisé en ce que** le module d'élasticité sous tension à 10 % d'allongement d'au moins une couche de calandrage d'au moins une couche de sommet de travail est inférieur à 8,5 MPa et **en ce que** la valeur maximale de tan(δ), noté tan(δ)max, de ladite au moins une couche de calandrage d'au moins une couche de sommet de travail est inférieure à 0.100.

10 - Pneumatique (1) selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** ladite au moins une couche de calandrage d'au moins une couche de sommet de travail (41, 42, 43) est un mélange élastomérique à base de caoutchouc naturel ou de polyisoprène synthétique à majorité d'enchaînements cis-1,4 et éventuellement d'au moins un autre élastomère diénique, le caoutchouc naturel ou le polyisoprène synthétique en cas de coupage étant présent à un taux majoritaire par rapport au taux de l'autre ou des autres élastomères diéniques utilisés et d'une charge renforçante constituée :

- a) soit par du noir de carbone de surface spécifique BET supérieure à 60 m²/g,

- 38 -

- i. employé à un taux compris entre 20 et 40 pce lorsque l'indice de structure du noir (COAN) est supérieur à 85,
 - ii. employé à un taux compris entre 20 et 60 pce lorsque l'indice de structure du noir (COAN) est inférieur à 85,
- 5 b) soit par du noir de carbone de surface spécifique BET inférieure à 60 m²/g, quelle que soit son indice de structure, employé à un taux compris entre 20 et 80 pce, et de préférence entre 30 et 50 pce,
- c) soit par une charge blanche de type silice et/ou alumine comportant des fonctions de surface SiOH et/ou AlOH choisie dans le groupe formé par les silices précipitées ou
10 pyrogénées, les aluminés ou les aluminosilicates ou bien encore les noirs de carbone modifiés en cours ou après la synthèse de surface spécifique BET comprise entre 30 et 260 m²/g employée à un taux compris entre 20 et 80 pce, et de préférence entre 30 et 50 pce,
- d) soit par un coupage de noir de carbone décrit en (a) et/ou de noir de carbone décrit
15 en (b) et/ou une charge blanche décrite en (c), dans lequel le taux global de charge est compris entre 20 et 80 pce, et de préférence entre 40 et 60 pce.

11 - Pneumatique (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'armature de sommet est complétée par une couche d'éléments de renforcement circonférentiel.

20 **12** - Pneumatique (1) selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** la couche d'éléments de renforcement circonférentiels est radialement disposée entre deux couches de sommet de travail.

13 - Pneumatique (1) selon l'une des revendications 11 ou 12, **caractérisé en ce que** les éléments de renforcement d'au moins une couche d'éléments de renforcement circonférentiels
25 sont des éléments de renforcement métalliques présentant un module sécant à 0,7 % d'allongement compris entre 10 et 120 GPa et un module tangent maximum inférieur à 150 GPa.

14 - Pneumatique (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'armature de sommet est complétée radialement à l'extérieur par au moins une nappe

- 39 -

supplémentaire (45), dite de protection, d'éléments de renforcement, orientés par rapport à la direction circonférentielle avec un angle compris entre 10° et 45° et de même sens que l'angle formé par les éléments de renforcement de la couche de sommet de travail qui lui est radialement adjacente.

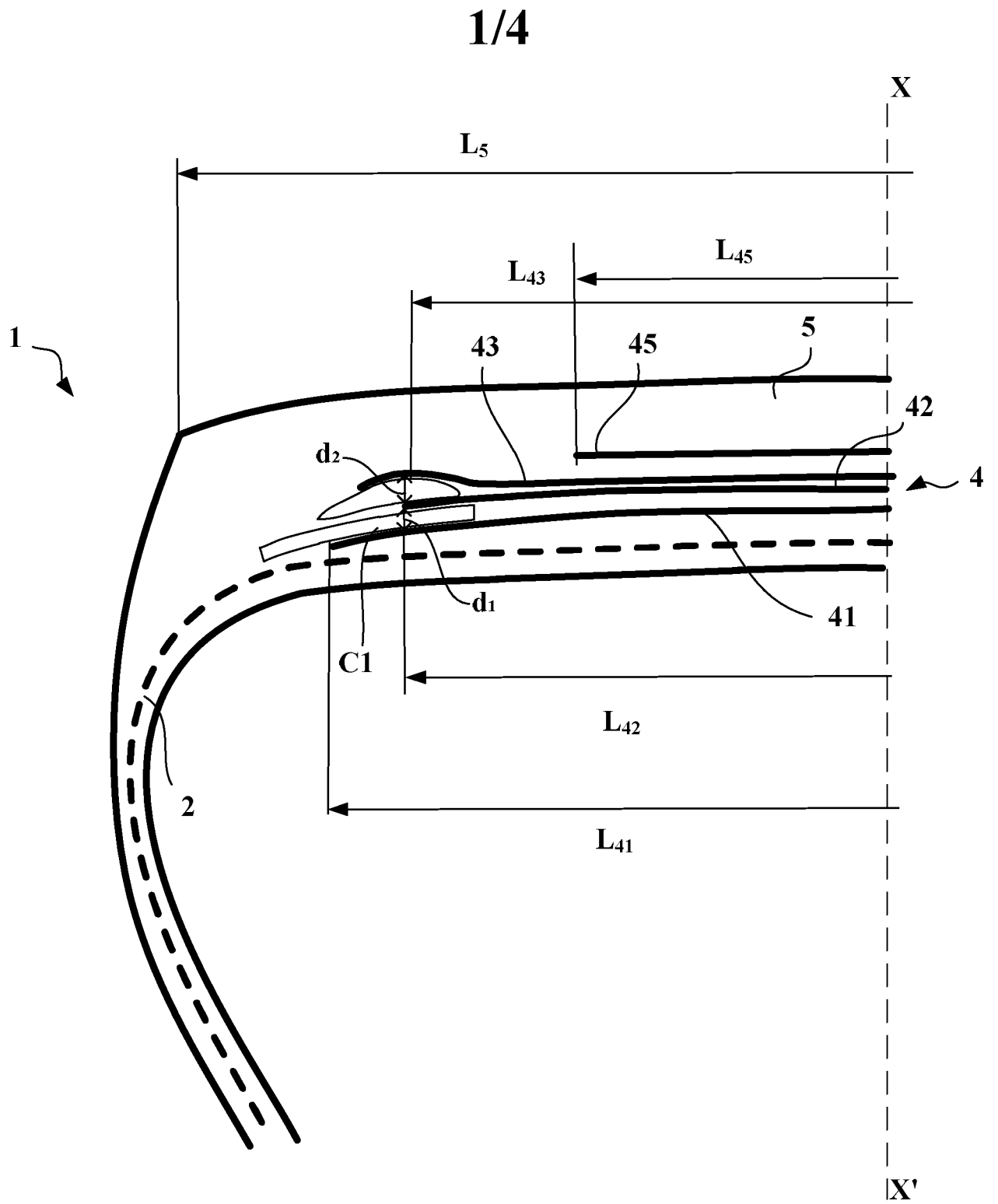


FIG.1

2/4

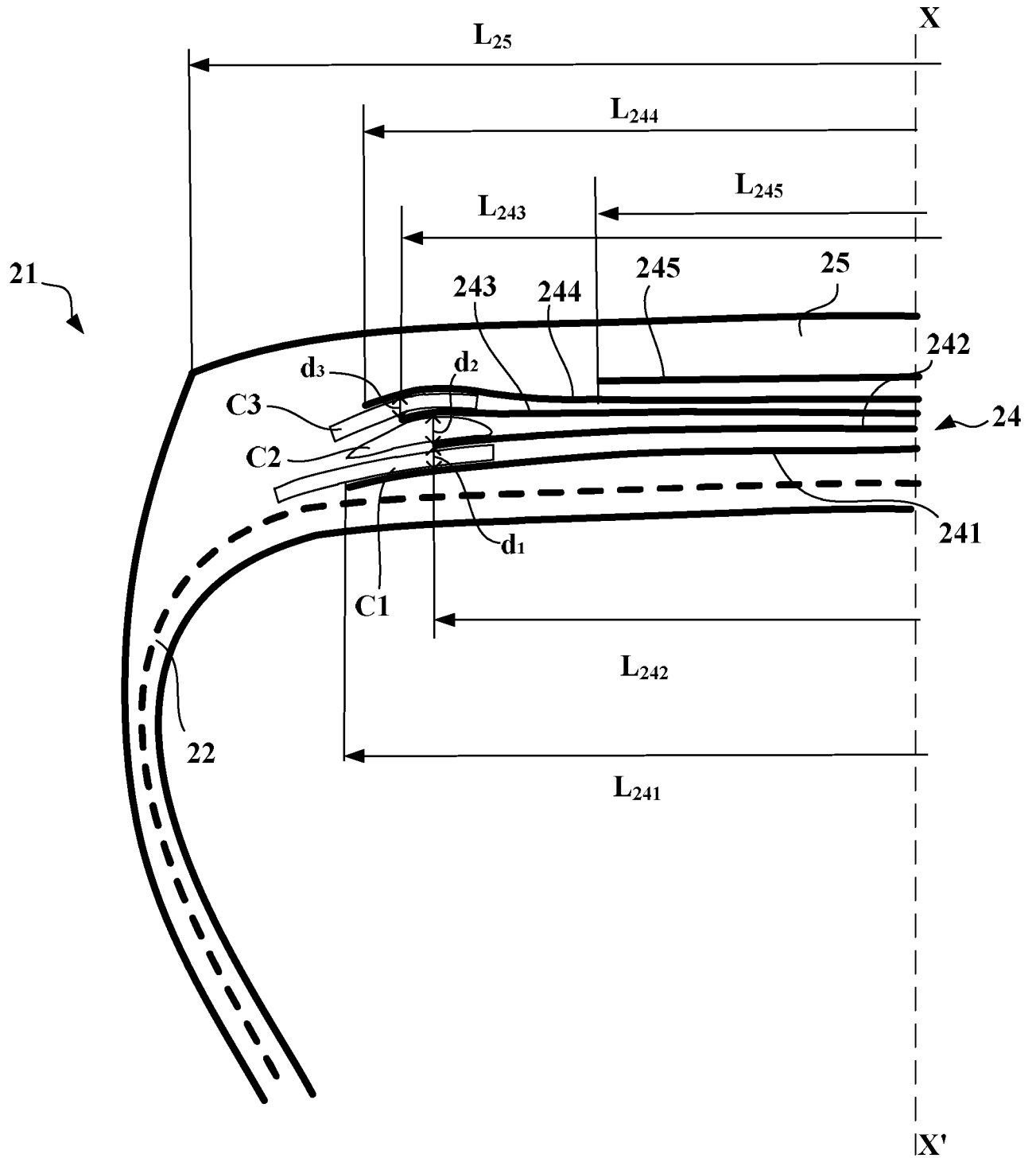


FIG.2

3/4

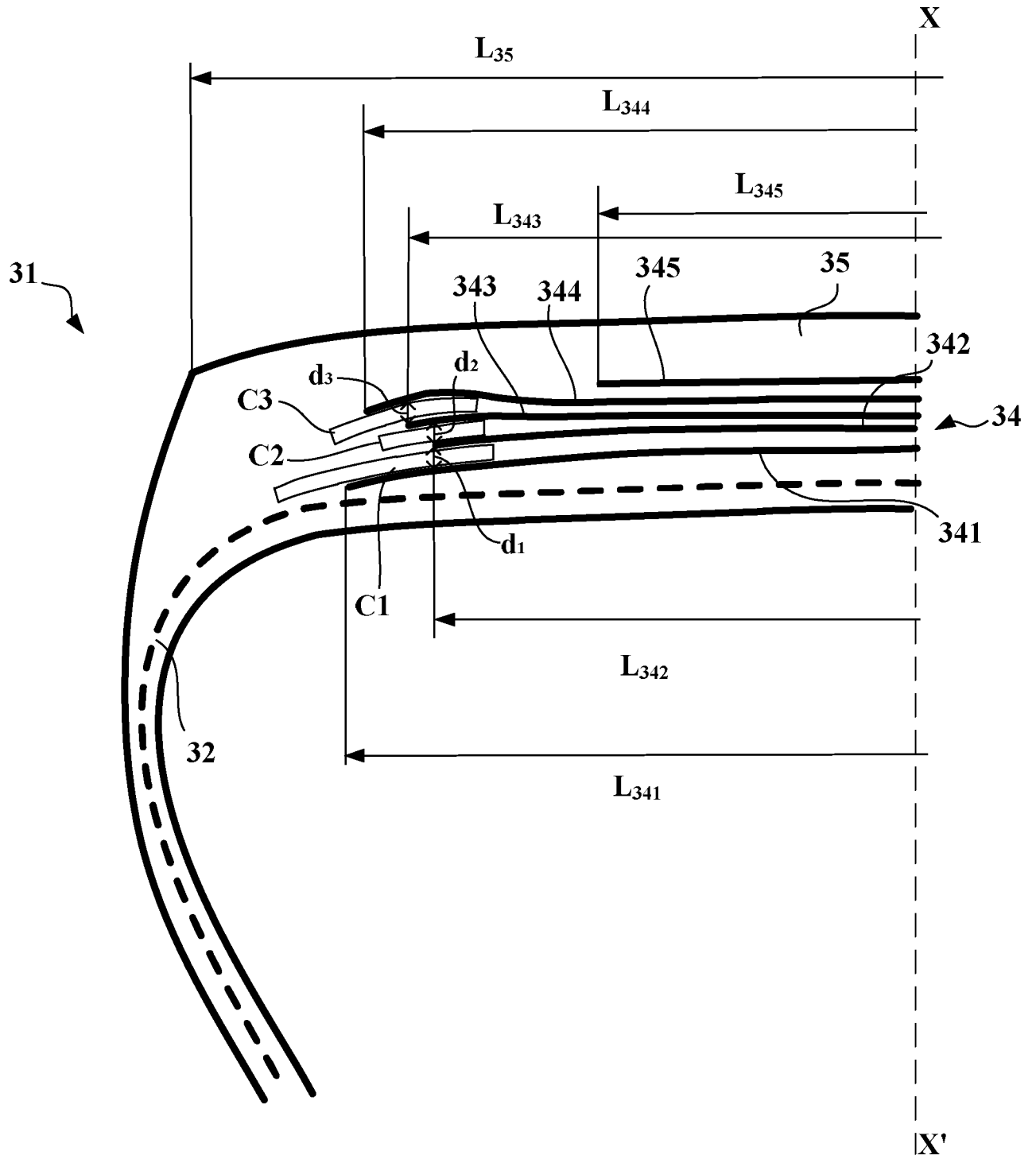


FIG.3

4/4

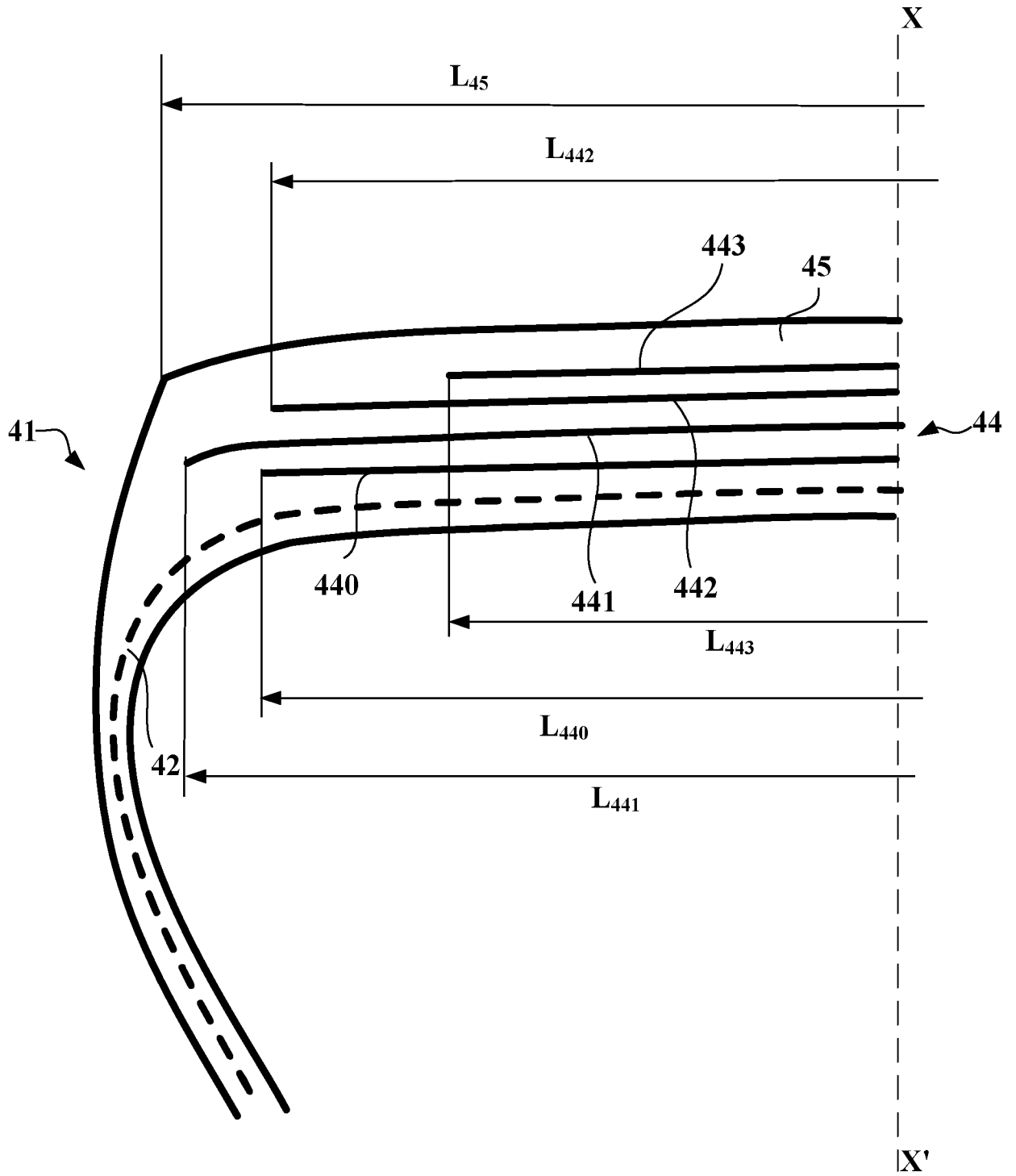


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/060596

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B60C9/20 B60C9/18
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B60C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2008/046749 A1 (MICHELIN SOC TECH [FR]; MICHELIN RECH TECH [CH]; BONDU LUCIEN [FR]) 24 April 2008 (2008-04-24) paragraphs [0050] - [0062]; figure 1 -----	1-14
A	WO 2012/017399 A1 (PIRELLI [IT]; ASCANELLI ALESSANDRO [IT]; BREGANTIM ALEXANDRE [IT]; CER) 9 February 2012 (2012-02-09) page 11, line 14 - page 12, line 18; figures 2,3 page 19, lines 7-18 -----	1-14
A	EP 0 941 873 A2 (BRIDGESTONE CORP [JP]) 15 September 1999 (1999-09-15) paragraphs [0020] - [0024]; figures 1-5 -----	1-14

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 27 July 2016	Date of mailing of the international search report 18/08/2016
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Buergo, Javier
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/060596

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2008046749	A1	24-04-2008	AT 463359 T 15-04-2010
		AU 2007312381 A1	24-04-2008
		CA 2664834 A1	24-04-2008
		CL 2007002978 A1	30-05-2008
		CN 101528482 A	09-09-2009
		CO 6180460 A2	19-07-2010
		EP 2079596 A1	22-07-2009
		ES 2343874 T3	11-08-2010
		FR 2907373 A1	25-04-2008
		JP 5259605 B2	07-08-2013
		JP 2010506786 A	04-03-2010
		PE 10802008 A1	30-08-2008
		US 2010314018 A1	16-12-2010
		WO 2008046749 A1	24-04-2008
		ZA 200902265 B	31-03-2010
WO 2012017399	A1	09-02-2012	CN 103025543 A 03-04-2013
			EP 2601059 A1 12-06-2013
			US 2013118668 A1 16-05-2013
			WO 2012017399 A1 09-02-2012
EP 0941873	A2	15-09-1999	EP 0941873 A2 15-09-1999
			ES 2221311 T3 16-12-2004
			US 6145560 A 14-11-2000

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2016/060596

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. B60C9/20 B60C9/18 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) B60C		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 2008/046749 A1 (MICHELIN SOC TECH [FR]; MICHELIN RECH TECH [CH]; BONDU LUCIEN [FR]) 24 avril 2008 (2008-04-24) alinéas [0050] - [0062]; figure 1 -----	1-14
A	WO 2012/017399 A1 (PIRELLI [IT]; ASCANELLI ALESSANDRO [IT]; BREGANTIM ALEXANDRE [IT]; CER) 9 février 2012 (2012-02-09) page 11, ligne 14 - page 12, ligne 18; figures 2,3 page 19, lignes 7-18 -----	1-14
A	EP 0 941 873 A2 (BRIDGESTONE CORP [JP]) 15 septembre 1999 (1999-09-15) alinéas [0020] - [0024]; figures 1-5 -----	1-14
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
27 juillet 2016	18/08/2016	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé	
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Buergo, Javier	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2016/060596

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2008046749	A1	24-04-2008	AT 463359 T	15-04-2010
			AU 2007312381 A1	24-04-2008
			CA 2664834 A1	24-04-2008
			CL 2007002978 A1	30-05-2008
			CN 101528482 A	09-09-2009
			CO 6180460 A2	19-07-2010
			EP 2079596 A1	22-07-2009
			ES 2343874 T3	11-08-2010
			FR 2907373 A1	25-04-2008
			JP 5259605 B2	07-08-2013
			JP 2010506786 A	04-03-2010
			PE 10802008 A1	30-08-2008
			US 2010314018 A1	16-12-2010
			WO 2008046749 A1	24-04-2008
			ZA 200902265 B	31-03-2010

WO 2012017399	A1	09-02-2012	CN 103025543 A	03-04-2013
			EP 2601059 A1	12-06-2013
			US 2013118668 A1	16-05-2013
			WO 2012017399 A1	09-02-2012

EP 0941873	A2	15-09-1999	EP 0941873 A2	15-09-1999
			ES 2221311 T3	16-12-2004
			US 6145560 A	14-11-2000
